

Waterwijs Laag Nederland – een eerste aanzet



# **Waterwijs Laag Nederland**

**Een eerste aanzet tot ontwikkeling van een planvormend systeem voor het landgebruik en waterbeheer**

**P.E.V. van Walsum**

**T. Vergroesen**

**P.E. Dik**

**M. Haasnoot**

**E. Verschelling**



**Alterra-Rapport 871**

**Alterra, Wageningen, 2003**

## REFERAAT

P.E.V. van Walsum, T. Vergroesen, P.E. Dik, M. Haasnoot, E. Verschelling. 2003. *Waterwijs Laag Nederland; een eerste aanzet tot ontwikkeling van een planvormend systeem voor het landgebruik en waterbeheer*. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 871. 84 blz. 34 fig.; 12 tab.; 16 ref.

In Laag Nederland spelen ten aanzien van de waterhuishouding de volgende problemen:

- sterke toename van de faalkans van het boezemsysteem als gevolg van klimaatverandering;
- daarmee samenhangende toenemende vraag naar waterberging ten behoeve van wateroverlast (piekberging), maar ook voor het opvangen van waterschaarste;
- toenemende behoefte aan inlaatwater, o.a. voor de doorspoelbehoefte als gevolg van zoute kwel;
- uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater;
- bodemdaling in veenweidegebieden.

Deze problemen vragen om een geïntegreerde aanpak, waarbij behalve het waterbeheer ook de ruimtelijke ordening is betrokken. Uiteindelijk doel van het onderzoek is de ontwikkeling van een planvormend systeem voor het land- en watergebruik in Laag Nederland, waarmee verschillende onzekerheden van de toekomst kunnen worden verkend. In het rapport wordt de eerste aanzet daartoe beschreven, waarbij met name in wordt gegaan op de koppeling van SIMGRO en SOBEK, en de toepassing daarvan op het voorbeeldgebied Schieland.

Trefwoorden: hoogwateroverlast, verzilting, eutrofiëring, polders, boezems, oppervlaktewater, grondwater, simulatie, optimalisering

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €25,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-Rapport 871. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info@alterra.nl](mailto:info@alterra.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Waterwijs	11
1.2 Doelstelling	12
1.3 Case-study	13
1.4 Leeswijzer	13
2 Aanpak van het onderzoek	15
2.1 Systematiek	15
2.2 Toepassingsspoor	16
2.3 Modelspoor	18
2.4 Invoerdata	19
3 Ontwikkelingen en ambities in het onderzoeksgebied	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Rol van het gehanteerde perspectief	21
3.3 Taakstelling	23
3.1.1 Globale gebiedsbeschrijving	23
3.3.1 Bestuurlijke afbakening	25
3.3.2 Indicatie van het ambitieniveau	25
3.3.2.1 Ambities van Schieland	25
3.3.2.2 Ambities van Provincie Zuid Holland	25
3.4 De actuele situatie en autonome ontwikkeling	26
3.5 Doelstellingen	27
3.6 Aandachtspunten	30
3.7 Maatregelen	30
4 Modelleren van de waterhuishouding	31
4.1 Inleiding	31
4.2 SIMGRO in vogelvlucht	33
4.2.1 Bodemwater	33
4.2.2 Grondwater	34
4.2.3 Oppervlaktewater	36
4.2.4 Integrale SIMGRO-model	41
4.3 SOBEK in vogelvlucht	42
4.3.1 Eigenschappen	42
4.3.2 Netwerk	43
4.3.3 Kunstwerken	44
4.4 Toepassing op Schieland	48
4.4.1 Modelgrenzen en schematisering	48
4.4.2 Bodem-plant-atmosfeersysteem	49

4.4.2.1	Neerslag en verdamping	49
4.4.2.2	Maaiveldhoogte	50
4.4.2.3	Landgebruik	51
4.4.2.4	Onverzadigde zone	52
4.4.3	Grondwater	53
4.4.3.1	Geohydrologische parameters	53
4.4.3.2	Tijdsafhankelijke gegevens	56
4.4.4	Oppervlaktewater	61
4.4.4.1	Schematisering	61
4.4.4.2	Ontwatering	68
4.4.4.3	Transport en berging	69
4.4.4.4	Uitwisseling data tussen SIMGRO en SOBEK	69
4.4.4.5	Tijdsafhankelijke data	70
5	Rekenresultaten	73
5.1	Vergelijking uitkomsten SIMGRO en SOBEK	73
5.2	Simulatie van waterinlaat	76
6	Ontwikkeling 'Waterwijs Laag Nederland' in perspectief	79
6.1	Verloop van het project	79
6.2	Vooruitblik	82
	Literatuur	83

## Woord vooraf

Voor u ligt het resultaat van een jaar samenwerken tussen WL | Delft Hydraulics en Alterra. Doel van die samenwerking is (in dit geval) het ontwikkelen van een beleids-ondersteunend systeem voor de ruimtelijke ordening 'Waterwijs Laag Nederland', in de vorm van een optimaliseringsmodel. Dat doel is vooralsnog niet gehaald. Aan de basis van het te ontwikkelen systeem ligt een koppeling van hydrologische modellen, die de verschillende delen van het watersysteem beschrijven. Dit onderdeel is aan de hand van een concrete voorbeeldstudie (Hoogheemraadschap van Schieland) wel gerealiseerd. Daarbij is de koppeling tussen de modellen SIMGRO en SOBEK uitgewerkt in zijn meest eenvoudige vorm. Tevens is uitwerking gegeven aan het formuleren van gebiedsdoelstellingen vanuit verschillende 'perspectieven'.

Voor beide partijen is het een waardevol leerproces geweest. Daarbij is ook duidelijk in beeld gekomen dat er nog een lange weg te gaan is voordat daadwerkelijk een optimaliseringsmodel voor Laag Nederland operationeel kan zijn. Dat komt mede doordat de huidige praktijk ver achterloopt bij wat nu reeds technisch mogelijk is. Men wordt dan gedwongen om eerst veel tijd te steken in het bereiken van een goed uitgangspunt voordat het eigenlijke onderzoek kan beginnen. In dit geval betrof dat het in orde maken van de data voor het voorbeeldgebied. Aan die gegevens moest zeer veel gesleuteld worden, en dat is eigenlijk nog niet af. Maar dat is nu eenmaal de prijs die men moet betalen om onderzoek te kunnen doen naar methoden die de markt van 'morgen' moeten gaan bedienen. Die markt bestaat uit "het in orde maken van het watersysteem", zie de EU Kaderrichtlijn.

Voor het vervolgtraject ligt wat ons betreft de eerste prioriteit bij de afstemming en koppeling van het *simulatie*-instrumentarium. Want een optimaliseringsmodel dat niet gefundeerd is op goed met elkaar gekoppelde simulatiemodellen is gedoemd om irrelevant voor de praktijk te zijn. Maar er zou pas verdergegaan moeten worden onder de vlag 'Waterwijs' als er een goed uitgangspunt is verkregen voor het doen van de eigenlijke methode-ontwikkeling. Door de manier waarop het huidige project is ingezet kan het lijken alsof het ontwikkelen van een optimaliseringsmodel de bottleneck is geweest, terwijl het in werkelijkheid de weerbarstige situatie wat betreft data en simulatiemodellen is geweest.

De hier ontwikkelde koppeling tussen SIMGRO en SOBEK maakt het reeds mogelijk om ingezet te worden bij veel praktijkvraagstukken, zoals het effect van het aanleggen van een tussenboezem op de faalkans van het systeem. Het verdient aanbeveling om te zoeken naar toepassingen, ook om terugkoppeling te krijgen vanuit de praktijk. Die ervaringen kunnen vervolgens sturend zijn bij de keuzes ten aanzien van onderzoek naar meer geavanceerde koppelingsopties.

Wageningen/Delft,  
Paul van Walsum (projectleider Alterra),  
Toine Vergroesen (projectleider WL | Delft Hydraulics)





## Samenvatting

Als gevolg van een veranderend patroon in neerslagoverschot en rivierafvoeren en zoutbelasting kan in de toekomst de balans tussen vraag en aanbod van water (verder) verstoord raken. Behalve de genoemde hydrologische ontwikkelingen spelen ook socio-economische ontwikkelingen een cruciale rol. Beide soorten ontwikkelingen kunnen leiden tot wateroverlast en waterschaarste. Oplossingen voor dergelijke problemen kosten vaak ruimte of vragen om een verandering van functie. In Laag Nederland spelen ten aanzien van de waterhuishouding en watergerelateerde functies de volgende problemen:

- sterke toename van de faalkans van het boezemsysteem als gevolg van klimaatverandering;
- daarmee samenhangende toenemende vraag naar waterberging ten behoeve van wateroverlast (piekberging), maar ook voor het opvangen van waterschaarste;
- toenemende behoefte aan inlaatwater, o.a. voor de doorspoelbehoefte als gevolg van zoute kwel;
- uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater;
- bodemdaling in veenweidegebieden;
- druk op de ruimte door plannen voor uitbreiding stedelijk gebied, kassen, en recreatie.

Deze problemen vragen om een geïntegreerde aanpak, waarbij behalve het waterbeheer ook de ruimtelijke ordening moet worden betrokken. En die ruimtelijke ordening wordt sterk beïnvloed door de socio-economische ontwikkelingen, die dus ook in beschouwing moeten worden genomen. Uiteindelijk doel van het onderzoek is de ontwikkeling van een planvormend systeem voor het land- en watergebruik in Laag Nederland, waarmee verschillende onzekerheden van de toekomst kunnen worden verkend. In het rapport wordt de eerste aanzet daartoe beschreven, waarbij met name in wordt gegaan op de koppeling van SIMGRO en SOBEK, en de toepassing daarvan op het Hoogheemraadschap Schieland.

In de beschrijving van de aanpak van het onderzoek wordt het zogenaamde IPEA-schema gevolgd (Van Rooy, 1997), zoals ook gedaan is voor Waterwijs Hoog Nederland (Van Walsum e.a., 2002). In laatstgenoemd rapport is evenwel geen aandacht besteed aan de rol van het 'perspectief', wat hier wel gedaan is. Het gehanteerde perspectief heeft gevolgen voor de doelstellingen die men heeft, de maatregelen die men overweegt, en de aannames die gedaan worden ten aanzien van externe randvoorwaarden (bijvoorbeeld klimaatverandering).

Om een model te kunnen maken van het Hoogheemraadschap Schieland is gebruik gemaakt van informatie uit diverse bronnen. Voor de waterlopen is de informatie afkomstig van het hoogheemraadschap zelf. Die informatie is bewerkt in de GIS-applicatie AlterraAqua (Van der Bolt e.a. 2000) van Alterra. In overleg met het hoogheemraadschap is het bestand uitgebreid gescreend een aangepast. Vanuit dit bestand is:

- door Alterra een SIMGRO-oppervlaktewatermodel opgezet;
- door WL | Delft Hydraulics een SOBEK-model opgezet.

Vervolgens heeft zich het volgende samenspel tussen de instituten ontwikkeld:

- door WL is een serie rekenexperimenten uitgevoerd, met oplopende laterale instroom ('belasting') van het oppervlaktewater;
- de rekenuitkomsten zijn door Alterra gebruikt voor het opstellen van zogenaamde afvoer-peil relaties;
- die relaties zijn vervolgens ingevoerd in het SIMGRO-model;
- met dat SIMGRO-model is een periode van 10 jaar doorgerekend;
- de uitkomsten voor het jaar 1998 zijn geanalyseerd in termen van de 'belasting van de hoofdwaterlopen' met water vanuit het detailafwateringssysteem;
- met die belastingen is vervolgens het SOBEK-model een herberekening van peilen en afvoeren gedaan, om de simulatieuitkomsten nauwkeuriger te schatten.

In de loop van het onderzoek is al snel duidelijk geworden dat het SIMGRO-model wat betreft de inlaat van water totaal niet geschikt was voor de situatie in Laag Nederland. De rekenwijze voor de inlaat van water is volledig opnieuw gecodeerd; er is ook voor gezorgd dat het model de stroming in *twee* richtingen aankan, zonder dat daarbij een onrealistisch peilverval optreedt. Dat laatste was namelijk het geval bij wateraanvoer in SIMGRO, in de versie die beschikbaar was bij aanvang van het onderzoek.

In het afsluitende hoofdstuk worden mogelijkheden aangegeven om de koppelingsmethodiek SIMGRO-SOBEK verder uit te bouwen, zo dat in de toekomst ook maatwerk kan worden geleverd: afhankelijk van de situatie en de vraagstelling kan dan een keuze voor de koppelingswijze worden gemaakt. Maar nog belangrijker is dat er een goede afstemming en koppeling komt wat betreft de simulatie van waterkwaliteit.

Voor het vervolgtraject wordt aanbevolen om eerst verder te werken aan het simulatie-instrumentarium, en dan pas onder de vlag 'Waterwijs' verder te gaan.

## 1 Inleiding

Sleutelbegrippen in het huidige Nederlandse waterbeleid zijn de integratie van watergerelateerde functies, duurzaam waterbeheer, de stroomgebiedbenadering en het vergroten van de natuurlijke veerkracht van watersystemen. Dit dient te leiden tot een uitgebalanceerd en geïntegreerd waterbeheer, dat in staat is om te gaan met de bestaande problematiek en met de onzekerheden voor de toekomst. Deze onzekerheden in het waterbeheer worden veroorzaakt door:

- klimaatverandering, omdat dit van grote invloed is op het wateraanbod en ook op de waterbehoefte;
- een grote verscheidenheid aan mogelijke sociaal-economische veranderingen (zoals bevolkingsgroei, industriële ontwikkeling, landgebruikveranderingen), die met name betrekking hebben op de toekomstige waterbehoefte.

Samen bepalen deze factoren de mogelijke toekomstbeelden. Deze zijn gekleurd al naar gelang het beeld dat mensen van de wereld hebben. Men zal die waterbeheerstrategie willen kiezen die zo goed mogelijk past bij het wereldbeeld dat men heeft. De vraag is dus:

*Wat is – gegeven alle onzekerheden – de beste strategie in het waterbeheer?*

De eerder genoemde sociaal-economische ontwikkelingen hebben niet alleen *gevolgen* voor waterbeheer. In dat geval zou water alleen ‘volgend’ zijn. De laatste tijd komt echter steeds vaker het begrip ‘water als sturend principe’ naar voren. Het watersysteem is dan sturend aan sociaal-economische ontwikkelingen zoals ruimtelijke planning. Er is dus een tweerichtingsverkeer in de wisselwerking tussen waterbeheer en ruimtelijke planning. Dat leidt tot de volgende meer complexe vraag:

*Wat is – gegeven de onzekerheden – de beste strategie voor de combinatie “waterbeheer - ruimtelijke planning”?*

Binnen Delft Cluster is daarom besloten om bouwstenen te ontwikkelen voor een watersysteemgerichte ruimtelijke planning en ruimtelijk waterbeheer, gericht op een sociaal-economisch en hydrologisch-ecologisch duurzame inrichting en gebruik van de ruimte. Deze bouwstenen zullen vooral benut moeten kunnen worden bij het anticiperen op ontwikkelingen die zich de komende decennia zullen voltrekken, als gevolg van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling, en als gevolg van maatschappelijke ontwikkelingen.

### 1.1 Waterwijs

Het modelinstrumentarium Waterwijs (Van Walsum e.a., 2002) is een dergelijke bouwsteen om watersysteemgerichte ruimtelijke planning en ruimtelijk waterbeheer te ondersteunen. Waterwijs is een door DLO ontwikkeld systeem voor het oplossen

van vraagstukken met betrekking tot land- en watergebruik. De problematiek van Laag Nederland en het oplossen daarvan was en is het onderwerp van velerlei studies. Waar het tot nu toe in de meeste studies echter aan ontbreekt is een goed doordachte afstemming tussen voorgestelde maatregelen voor verbetering van de waterbeheersing en de planning van het toekomstig landgebruik. 'Waterwijs' heeft als doel daar wel aan te voldoen.

Het systeem is succesvol toegepast voor een gebied in Hoog Nederland. Het zou in principe ook mogelijk moeten zijn het systeem dusdanig aan te passen en uit te breiden dat het ook voor Laag Nederland kan worden gebruikt.

In Laag Nederland spelen ten aanzien van de waterhuishouding de volgende problemen:

- sterke toename van de faalkans van het boezemsysteem als gevolg van klimaatverandering;
- daarmee samenhangende toenemende vraag naar waterberging ten behoeve van wateroverlast (piekberging), maar ook voor het opvangen van waterschaarste;
- toenemende behoefte aan inlaatwater, o.a. voor de doorspoelbehoefte als gevolg van zoute kwel;
- uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater;
- bodemdaling in veenweidegebieden.

Daarvoor is het echter noodzakelijk een aantal specifieke aspecten aan het systeem toe te voegen, die karakteristiek zijn voor Laag Nederland, zoals:

- het boezem- en poldersysteem (met een veel complexere hydraulica dan de afwatering in Hoog Nederland);
- de specifieke hoogwaterproblematiek als gevolg van het vlakke en diep gelegen maaiveld;
- de verdrogingsproblematiek door inlaat van gebiedsvreemd water (waterkwaliteitsproblemen);
- de specifieke veenweideproblematiek;
- de verziltingsproblematiek;
- het feit dat natuurontwikkeling sterk gebonden is aan de kwaliteit van het oppervlaktewater;
- verstedelijking, en ook de sterke toename daarvan.

## **1.2 Doelstelling**

De doelstelling van het project is:

*Ontwikkeling van een planvormend systeem voor het land- en watergebruik in Laag Nederland, waarmee verschillende onzekerheden van de toekomst kunnen worden verkend.*

Daarbij staat voorop dat het systeem strategische vragen over land- en watergebruik in Laag Nederland moet kunnen beantwoorden.

### **1.3 Case-study**

Om aan de doelstelling van het project te kunnen voldoen moet Waterwijs worden aangepast aan de specifieke problematiek van Laag Nederland. Het systeem onderscheidt zich door de integrale aanpak van ruimte, water, en stoffen (nutriënten en zout). Bij de ontwikkeling wordt gebruik gemaakt van een case-study. Hiervoor is het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Schieland gekozen. In dit gebied spelen alle onderdelen van de specifieke problematiek van Laag Nederland een rol.

### **1.4 Leeswijzer**

In het navolgende hoofdstuk wordt eerst een uiteenzetting gegeven over de gekozen aanpak, onderverdeeld in een toepassingsspoor en een modelspoor. Voor het toepassingsspoor wordt het stappenplan gebruikt dat kenmerkend is voor de IPEA-systematiek (Van Rooy, 1997).

In Hoofdstuk 3 wordt uitgebreid stilgestaan bij de ontwikkelingen en ambities in het onderzoeksgebied. Het betreft daarbij de stappen Taakstelling, Doelstellingen en Aandachtspunten. Bij dat laatste vindt er een toetsing plaats aan de Actuele Situatie, inclusief de toekomstige ontwikkelingen ('autonome ontwikkeling', 'bestaand beleid') en aan externe ontwikkelingen zoals de verandering van het klimaat. De Actuele Situatie – en zeker de toekomstige ontwikkelingen – kan men pas goed toetsen als er een goede systeembeschrijving beschikbaar is. In dit project is de simulatie en toetsing van de Actuele Situatie slechts beperkt uitgewerkt. Gezien de centrale rol die het optuigen van de modellen SIMGRO en SOBEK in het project heeft gespeeld is die activiteit in een aparte hoofdstuk 4 (modellen) en 5 (resultaten) ondergebracht. Gezien de gerichtheid van de studie op methode-ontwikkeling, zijn de modellen wel opgezet op basis van echte gegevens, maar is geen tijd gependend om de modellen te kalibreren aan metingen.

In hoofdstuk 6 tenslotte, wordt teruggeblikt op het huidige project en wordt een vooruitblik gegeven op een (eventueel) vervolgtraject.



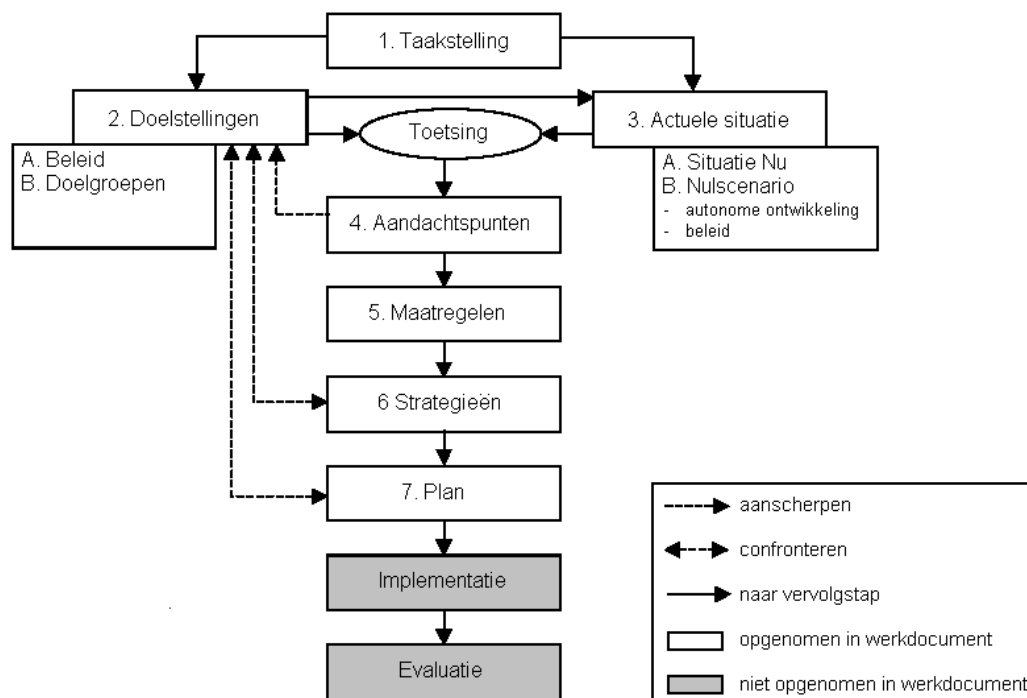
## 2 Aanpak van het onderzoek

De ontwikkeling van het instrumentarium voor Laag Nederland verloopt via een case-study voor het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Schieland. Het onderzoek bestaat uit een toepassingsspoor en een modelspoor. Het modelspoor dient het toepassingsspoor.

### 2.1 Systematiek

De case-study volgt de fasering die kenmerkend is voor de IPEA-systematiek (Van Rooy, 1997) en die ook (in aangepaste vorm) is gevolgd in de case-study van het Beerze en Reusel gebied voor Waterwijs Hoog Nederland (Van Walsum e.a., 2002). Dit toepassingsspoor bestaat uit 7 onderdelen (zie ook Figuur 1):

1. Taakstelling
2. Doelstellingen
3. Actuele situatie
4. Aandachtspunten
5. Maatregelen
6. Strategieën
7. Plan



*Figuur 1 Het IPEA stappenplan dat de basis vormt van 'Plannen met water'*

Naast het toepassingsspoor volgt het project een modelspoor. Het modelspoor bestaat uit de te gebruiken hulpmiddelen en modellen. Het gaat daarbij om het (verder) ontwikkelen en toepassen van:

1. Het evaluatie-instrumentarium, waarmee voorgestelde maatregelen kunnen worden doorgerekend op hun effecten en waarmee de doelrealisaties kunnen worden voorspeld;
2. De zoekmachine, waarmee ruimtelijke plannen voor land- en watergebruik kunnen worden gegenereerd via een geautomatiseerd protocol.

Het evaluatieinstrumentarium is nodig voor de stappen 3 en 6, de zoekmachine voor stap 6.

## **2.2 Toepassingsspoor**

De onderdelen van het toepassingsspoor worden hieronder puntsgewijs kort opgesomd.

1. Taakstelling:
  - afbakening concreet gebied;
  - vaststelling concrete problematiek van het gebied;
  - bepaling ambitieniveau van de ‘opdrachtgever’;
  - vaststelling van de planningseenheden (kleinste ruimtelijke eenheden waarvoor maatregelen worden voorgesteld).
2. Doelstellingen:
  - formulering in termen van streefbeelden;
  - vertaling streefbeelden in doelvariabelen, en koppeling aan doelwaarden;
  - doelstellingen formuleren voor:
    - landbouw, natuur en nieuwe stedelijke gebieden;
    - het watersysteem, piekafvoerbelaasting, belasting oppervlaktewater met nutriënten.
3. Actuele Situatie (en autonome ontwikkelingen):
  - beschrijving van de huidige situatie (‘foto-opname’);
  - beschrijving van het Nulscenario, zijnde de huidige situatie plus autonome ontwikkelingen ten aanzien van:
    - generiek landbouwbeleid en prijsontwikkelingen landbouwproducten;
    - realisatie nieuwe natuur in het kader van de EHS;
    - klimaatverandering;
    - uitbreiding stedelijk gebied (5e Nota R.O.).



4. Aandachtspunten:
  - vergelijking maken tussen doelstellingen en voorspellingen ten aanzien van de Actuele Situatie;
  - daar waar in de Actuele Situatie de doelwaarden niet worden gehaald is er kennelijk een spanningsveld dat om een oplossing vraagt.
5. Maatregelen
  - combinatieopties van landgebruik met waterbeheer;
  - multifunctionaliteit landgebruik, ook in relatie tot waterberging en natuur;
  - routing van het water; opties bepalen op basis van een analyse van de hydraulische mogelijkheden van het boezem- en poldersysteem. Tevens nagaan of het toevoegen van routes mogelijk is via uitbreiding van dat systeem. Het routeringsvraagstuk speelt bij de waterberging van piekafvoeren, de inlaat van gebiedsvreemd water en bij de afvoer van nutriëntenrijk drainagewater;
  - bij het samenstellen van basis(combinatie)opties waar landgebruik een rol in speelt rekening houden met beoogde *effecten* (bijvoorbeeld bijdrage aan waterberging) maar ook aandacht voor de specifieke *eisen* die gesteld worden aan waterkwantiteit en -kwaliteit:
    - normen voor hoogwateroverlast;
    - eisen aan het grondwaterregime;
    - normen voor waterkwaliteit, niet alleen voor de natuur maar ook voor de landbouw (b.v. veedrenking).Deze eisen moeten op een rij worden gezet voor de verschillende landgebruikvormen, die als opties worden gezien.
6. Strategieën
  - combinatie van de maatregelen tot een coherent geheel;
  - geen 'halve' beslissingen ten aanzien van de routing van het water;
  - cruciale rol van het toekomstbeeld dat de betrokkenen hebben ('perspectief')
7. Plan
  - keuze tussen strategieën wordt concreet uitgewerkt;
  - tijdplanning, de volgorde van uitvoeren en de begroting.

## 2.3 Modelspoor

Het modelspoor dient ter ondersteuning van het toepassingsspoor. De betrouwbaarheid van de gebruikte modellen is van wezenlijk belang voor de bruikbaarheid van de resultaten van het toepassingsspoor.

### 1. Evaluatie-instrumentarium

Om vraagstukken te kunnen beantwoorden die direct te maken hebben met het landgebruik en het waterbeheer is het nodig om te kunnen beschikken over een geïntegreerd model van bodem-, grond- en oppervlaktewater. Ook voor de doelrealisatie ten aanzien van het landgebruik (productie voor landbouwgronden, natuurwaarde voor terrestrische natuur) is een dergelijk model vereist.

Het model SIMGRO (Veldhuizen e.a., 1998) heeft verschillende mogelijkheden om het transport van oppervlaktewater te simuleren. Ook eenvoudige terugstuwingsituaties kunnen worden gesimuleerd. Echter voor situaties die om een echte hydraulische berekening vragen, is een hydraulisch model vereist. Daarvoor wordt in dit project gebruik gemaakt van SOBEK (WL | Delft Hydraulics, 2001.) Ook voor het evalueren van maatregelen wordt SOBEK ingezet. SOBEK wordt dus zowel in het voor- als in het natraject gebruikt.

Voor de berekeningen met waterkwaliteit wordt wat betreft de belasting met stoffen gebruik gemaakt van de modellen die reeds voor Hoog Nederland operationeel zijn gemaakt. Daarbij wordt uitgegaan van een relatief eenvoudige benadering, zowel voor nutriënten als voor chloride. Bij nutriënten wordt rekening gehouden met een bepaalde mate van afbraak, gekoppeld aan de verblijftijd. In het evaluatie-instrumentarium zal (t.z.t.) gebruik worden gemaakt van het waterkwaliteitsmodel (DELWAQ/SOBEK-WQ).

### 2. Zoekmachine

Met name het oppervlaktewater is voor Laag Nederland anders dan voor Hoog Nederland. De maatregelen in het oppervlaktewater hebben wat de routing van het water betreft een discreet karakter (dat met 0 / 1 variabelen moet worden gemodelleerd). Dat geeft een aanzienlijke verzwaring van de rekenlast, maar daar staat tegenover dat met veel minder ruimtelijke eenheden kan worden gewerkt dan de 4000 die voor de case in Hoog NL zijn gebruikt.

Vanwege de aansluiting met het landbouwmodel van het LEI en het 'hergebruik' van de ontwikkelde optimalisatiecode wordt gebruik gemaakt van het Lineaire Programmerings pakket van DASH (DASH, 2003).

De zoekmachine wordt gevuld met berekeningsresultaten van het evaluatie-instrumentarium. De zoekmachine levert uiteindelijk de maatregelen, die nodig zijn om de gestelde doelen te bereiken.

## **2.4 Invoerdata**

De uiteindelijke betrouwbaarheid van de zoekmachine hangt af de betrouwbaarheid van de gebruikte modellen. Daarom moeten eerst de hydrologische onderdelen van het evaluatie-instrumentarium op orde worden gebracht. Dat wil zeggen er moeten modellen gemaakt worden, die de hydrologie van het gebied in voldoende mate beschrijven. Daarom is het van belang om de werkelijkheid toch zo goed mogelijk in model te brengen. Vandaar dat er wel veel tijd is gestoken in het verzamelen en op orde brengen van de benodigde invoer data. Daarbij lag de focus als vanzelf sprekend op het oppervlaktewatersysteem. Maar omdat het onderzoek zich vooral richt op de methodiek is besloten geen tijd te steken in het calibreren van de modellen aan de hand van waarnemingen.



### **3 Ontwikkelingen en ambities in het onderzoeksgebied**

#### **3.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de eerste twee stappen van het IPEA-schema (zie ook hoofdstuk 2), te weten Taakstelling en Doelstellingen. De rest van de stappen zijn ook langsgelopen, maar dat was meer een soort verkenning. Want in het onderzoek is daar slechts beperkt aan toegekomen. Bij de invulling van de IPEA-stappen speelt het gehanteerde ‘perspectief’ een cruciale rol. Daarom wordt daar eerst op ingegaan.

#### **3.2 Rol van het gehanteerde perspectief**

Zoals vermeld in hoofdstuk 1 zijn er verschillende onzekerheden in het waterbeheer. Dit heeft te maken met onzekerheden omtrent klimaatverandering en socio-economische ontwikkelingen. Beide beïnvloeden de vraag en aanbod van het water. Een manier van omgaan met verschillende onzekerheden is het doorrekenen van een oneindige hoeveelheid combinaties van factoren in scenario's. Hierbij kunnen echter ook inconsistente scenario's ontstaan. Een andere manier is het benaderen van deze onzekerheden is door het bundelen van mogelijk beheer en ontwikkelingen in een perspectief. Een perspectief is een consistente en coherente visie op hoe de wereld functioneert (wereldbeeld) en welk beheer hier op aansluit (Van Asselt e.a., 2001). Een perspectief bestaat uit een wereldbeeld en management style.

In een studie naar de geïntegreerde waterbeheer-strategieën voor het stroomgebied van Rijn en Maas is al eerder gebruik gemaakt van verschillende perspectieven van mensen (Van Asselt e.a., 2001). In die studie zijn de perspectieven gestructureerd met behulp van culturele theorie (Thompson e.a. 1990; 1999). Hierdoor is een brede geïntegreerde set van mogelijke waterbeheer en ruimtelijke ordening strategieën meegenomen. Een perspectief bestaat uit een wereldbeeld en een waterbeheer-strategie. Figuur 2 geeft een overzicht van deze drie perspectieven. Er zijn verschillende beheerstrategieën onderling vergeleken, door verschillende combinaties van beheer en verwachte toekomst met modellen door te rekenen. Aan de hand daarvan zijn aanbevelingen gedaan omtrent de robuustheid van het huidige waterbeheer en mogelijke opties voor aanpassing in de wijze van beheer bediscussieerd met het oog op de toekomst. Uit de studie van Van Asselt bleek dat de drie perspectieven een vrij compleet beeld geven van mogelijke ontwikkelingen en meningen.

Deze perspectieven worden hier ook gebruikt om een geïntegreerde en brede set van scenario's te bestuderen. Door de verschillende perspectieven door te rekenen kan worden gekeken wat de optimale inrichting is, volgens de ideeën die bij een bepaald perspectief horen, en of de eisen die een bepaald perspectief aan een gebied stelt wel gehaald kunnen worden. De perspectieven worden het makkelijkst geïllustreerd aan de hand van de manier waarop de externe ontwikkelingen worden ingeschat:

### Individualist

Water is economisch goed  
Natuur is robuust  
Technologie biedt mogelijkheden  
Markt is sturend



### Milieudenker

Ecosysteem is kwetsbaar  
Water is sturend  
Minimale risico  
Toename kans op overstroming



### Hierarchist

Veiligheid is leidend principe  
Controle  
Stabiliteit  
Partnerschap



Figuur 2 Drie perspectieven naar van Asselt e.a., 2001

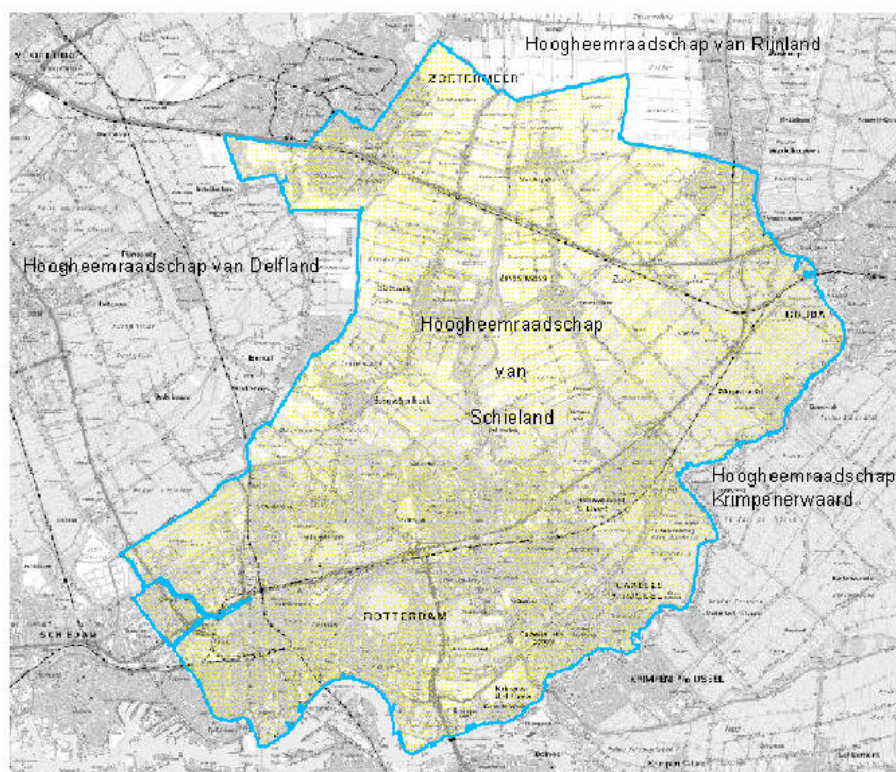
- De *milieudenker* verwacht een beperkte economische groei en een beperkte toename van de watervraag. Klimaatverandering is een serieus probleem en is al aan de gang. Zij willen geen risico nemen en houden rekening met meest extreme klimaatscenario's. Hetzelfde geldt voor vervuiling.
- De *individualist* verwacht een ongelimiteerde bevolkings-economische groei, met een toename van de ruimtelijke claims voor stedelijk en industrieel gebied. Toename watervraag en vervuiling zijn onvermijdelijke consequenties maar geen bedreiging, want de natuur is robuust. Het klimaat is niet gevoelig voor broeikasgassen en zal dus niet veranderen. Mocht het wel zo zijn dan worden er technische oplossingen bedacht voor het reduceren van de broeikasgassen. Er wordt geanticipeerd op een geringe klimaatverandering (de huidige trend zet door).
- De *hierarchist* verwacht dat continue economische groei onvermijdelijk is, maar moet wel zo veel mogelijk binnen regels gebeuren. Toename van de watervraag en vervuiling zijn potentiële bedreigingen. Klimaatverandering is gevoelig voor broeikasgassen; een centrale schatting van de verandering is het meest waarschijnlijk.

Het gehanteerde perspectief wordt in dit rapport ook nog uitgewerkt voor de stap 'doelstellingen'.

### 3.3 Taakstelling

#### 3.1.1 Globale gebiedsbeschrijving

In de voorliggende studie naar een Waterwijs voor Laag Nederland is gekozen voor het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Schieland. Het beheersgebied van Schieland ligt tussen Rotterdam-Gouda, Waddinxveen en Zoetermeer (Figuur 3). Aan de noordzijde grenst het gebied aan dat van het Hoogheemraadschap van Rijnland en in het zuiden aan Delfland. De Gouwe, Hollandsche IJssel en de Nieuwe Maas begrenzen het gebied in het oosten en zuiden. Het gebied omvat circa 22.000 ha.



*Figuur 3 Ligging studiegebied*

Het gebied bestaat uit 14 polders (Figuur 4), welke zijn onder te verdelen in 151 peilgebieden. Het waterpeil in de polders varieert van NAP -2,5 m tot NAP -7,0 m, afhankelijk van het grondgebruik. Het water uit de polders stroomt via sloten, watergangen en hoofdwatergangen naar de poldergemalen, die het water naar de hoger gelegen boezemwateren (circa NAP - 1,0 m) pompen. Schieland heeft drie boezemwateren, te weten de Rotte, de Ringvaart Zuidplaspolder en de Ringvaart Zestienhoven. Via twee grote boezemwatergemalen (gemaal mr.U.G. Schilthuis in Rotterdam en gemaal Abraham Kroes in Moordrecht) wordt het water afgevoerd naar de Nieuwe Maas respectievelijk de Hollandse IJssel. De totale pompcapaciteit van de gemalen van Schieland is voldoende om ongeveer 18 mm neerslag per dag af te voeren.



*Figuur 4 Watersysteem van Schieland*

Schieland is een voormalig hollandsveengebied dat is afgegraven voor turfwinning. Hierdoor onstonden plassen welke vervolgens zijn drooggemalen. Op dit moment bestaat de bodem vooral uit kleigronden. Langs de rivieren bevinden zich nog een aantal moerige en veengronden. Op de overgangzones tussen zeeklei en veengrond komt kattenklei voor. De maaiveldhoogte varieert van NAP -4.0 m in het Noorden tot NAP -6.67 m in de Zuidplaspolder, wat officieel het diepste punt van Nederland is.



### **3.3.1 Bestuurlijke afbakening**

Het Hoogheemraadschap van Schieland is verantwoordelijk voor het waterbeheer in haar beheersgebied. De Provincie Zuid-Holland is verantwoordelijk voor de ruimtelijke ordening in dit gebied. Beide bestuurlijke instanties hebben ambities binnen hetzelfde gebied. Deze ambities kunnen niet los gezien worden van een aantal ontwikkelingen waarmee het gebied de komende decennia (vermoedelijk) zal worden geconfronteerd.

### **3.3.2 Indicatie van het ambitieniveau**

#### **3.3.2.1 Ambities van Schieland**

De uitvoering van drie kerntaken staat centraal. Dit zijn waterkeringenbeheer, waterkwantiteitsbeheer en waterkwaliteitsbeheer. De inrichting van het watersysteem en de organisatie van het waterbeheer staan er borg voor dat, zeer extreme situaties daargelaten, al het water door het systeem kan worden verwerkt. Toch verschuiven ook hier de accenten. De drie principes uit de startovereenkomst (van WB21) leiden er immers toe dat water, meer dan tot nu toe het geval was, als een ruimtelijk fenomeen moet worden benaderd. Enerzijds betekent dit meer ruimte voor water, anderzijds betekent dit dat water mede sturend is voor de ruimtelijke ontwikkeling. Voor het waterschap betekent dit ook een omslag van 'voorwaardescheppend' naar meer 'voorwaardestellend', met een actievere houding in de ruimtelijke discussie. Voorbeelden zijn participatie in de discussies rondom de Deltametropool, de verkenningen 5e Nota Ruimtelijke Ordening van Zuidplaspolder / B-Driehoek, de verkenningen voor glastuinbouwlocaties in Zuid-Holland en het Strategisch Groenproject Zoetermeer Zuidplas.

#### **3.3.2.2 Ambities van Provincie Zuid Holland**

De ruimtelijke ordening in het beheersgebied van Schieland valt onder de verantwoordelijkheid van de Provincie Zuid-Holland. Deze heeft in de diverse Provinciale plannen aangegeven dat er in Schieland een aantal ruimtelijke veranderingen aan zitten te komen. In grote lijnen komt het erop neer dat er in het gebied een toename van het stedelijke gebied is gepland. Daarnaast is er binnen de Provincie Zuid-Holland beleid ontwikkeld inzake verplaatsing van glastuinbouw. Voor het beheersgebied van Schieland betekent dit een uitbreiding van de glastuinbouw. Ook wil de Provincie in dit gebied meer recreatiemogelijkheden creëren en een aantal verbindingszones voor de natuur aanleggen. Het moge duidelijk zijn dat dit gepaard gaat met veranderingen van de eisen die aan het watersysteem gesteld worden.

### **3.4 De actuele situatie en autonome ontwikkeling**

In de visie van Schieland op water en ruimtelijke ordening (Hoogheemraadschap van Schieland, 2002) worden een aantal ontwikkelingen genoemd waarmee Schieland de komende 100 jaar wordt geconfronteerd. Op veel plaatsen is een constante bodemdaling gaande die in de veengebieden kan oplopen tot meer dan 7 mm per jaar. Daarnaast wordt de verwachte klimaatverandering genoemd zoals aangegeven door de commissie 'Waterbeheer 21e eeuw'. Dit houdt voor Schieland het volgende in:

- zeespiegelstijging tussen de 20 en 80 cm; situaties waarin boezem water niet naar het buitenwater kan afvoeren zullen vaker en langduriger voorkomen (met name bij de Rotte);
- drogere zomers met een afname van de zomerse rivierafvoeren. Gecombineerd met een hogere zeespiegelstijging zal dit leiden tot hogere zoutgehalten in het buitenwater. Dit proces kan verder worden versterkt door een ander beheer van de Haringvlietsluizen;
- toename van de totale hoeveelheid en intensiteit van de winterneerslag. De capaciteit van polder- en boezemgemalen is hiervoor niet voldoende.

Schieland verwacht dat de principes uit de startovereenkomst van Waterbeheer 21e eeuw de eigenschappen van het watersysteem een zwaardere druk gaan uitoefenen op het waterbeleid. Deze principes zijn:

1. Niet afwentelen;
2. De trits vasthouden-bergen-afvoeren;
3. Meer ruimte naast techniek.

Het watersysteem heeft extra ruimte nodig, dat is inmiddels voor alle betrokkenen wel duidelijk. Het gaat hierbij om meer ruimte voor reguliere berging en om het vergroten van de transportcapaciteit van de watergangen. De hiervoor benodigde ruimte bedraagt circa 300 ha, verspreid over het totale beheersgebied.

Daarnaast hebben ook stedelijke en maatschappelijke ontwikkelingen invloed op het waterbeheer van Schieland. Veranderende prioriteiten vragen om extra ruimte voor natuur. De toename van de bevolking vraagt om steeds meer woongebied, groene recreatievoorzieningen, en bedrijfsterreinen. Een deel van deze extra vraag kan worden opgevangen door de reeds in gang gezette verplaatsing van de glastuinbouw. De toenemende verstedelijking zorgt voor een hogere potentiële economische schade van wateroverlast.

### 3.5 Doelstellingen

Met doelstellingen voor het gebied worden wensen gesteld aan de ruimtelijke ordening en waterbeheersing. Dit wordt gedaan voor iedere ruimtegebruiksfunctie. Binnen dit project zijn doelstellingen geformuleerd over de volgende onderwerpen:

- landbouw;
- natuur;
- recreatie;
- wonen (inclusief veiligheid);
- water(kwaliteit).

Doelstellingen worden beschreven in termen van zogenaamde streefbeelden. Een streefbeeld wordt getoetst aan de hand van doelvariabelen. Het al dan niet bereiken van een doelvariabele wordt bepaald aan de hand van de doelwaarde. Een voorbeeld hiervan is een 'stadsuitbreiding' (streefbeeld), waarbij het 'aantal nieuwe woningen' (doelvariabele) groter moet zijn dan 300 (doelwaarde). Aangezien het gehanteerde toekomstperspectief een grote invloed heeft op de doelstellingen, worden voor ieder perspectief de doelstellingen apart uitgewerkt in Tabel 1.

Doelstellingen en daarmee ook streefbeelden en doelwaardes zijn in feite afhankelijk van wensen en voorkeuren van mensen. Dit geldt overigens ook voor het soort maatregelen die men neemt. In het kort gezegd: beiden worden bepaald door het perspectief van mensen. Zo vindt de een dat er een groot areaal nodig is om te recreëren, wil de ander dat de glastuinbouw zich kan uitbreiden en pleit een derde voor een hogere kwaliteit van de aanwezige natuur.

De uiteindelijke optimale inrichting is behalve de fysische kenmerken dus ook afhankelijk van het wereldbeeld van mensen. Dit geldt niet alleen voor de inrichting van een gebied, maar ook voor maatregelen in het waterbeheer. Bij problemen met wateroverlast zal de een de oplossing meer zoeken in civieltechnische maatregelen, terwijl de ander meer ziet in ruimte voor water door bijvoorbeeld extra waterberging.

Er zijn verschillende perspectieven denkbaar. Daarbij kan worden gedacht aan het al dan niet optreden van klimaatverandering (sommige mensen geloven er wel, anderen niet). Een klimaatverandering zal van invloed zijn op het aanbod van water. Echter ook sociaal- en landbouw-economische veranderingen zijn onzeker in de toekomst. Ook zij beïnvloeden de vraag naar water. Beide aspecten (klimatologische en maatschappelijke ontwikkelingen) hebben dus invloed op het waterbeheer en ruimtelijke inrichting.

Tabel 1 Doelstellingen Schieland

<b>Multifunctioneel landgebruik</b>				
<b>Doelstellingen</b>	<b>Streefbeeld</b>	<b>Doelvariabele</b>	<b>Doelwaarde</b>	<b>Perspectief</b>
Veiligheid	Verminderen van wateroverlast, veiligheid gaat boven alles	Faalkans systeem	vrijwel nooit	Hierarchist
Veiligheid	Hoge veiligheid in gebieden die economisch hoge waarde hebben	Faalkans systeem	midden, kostenbaten-analyse functies	Individualist
Veiligheid	Acceptatie wateroverlast wordt groter	Faalkans systeem	laag	Milieudenker
Cultuur historische waarde	Volgens beleidsplan milieu en water is er geen agrarisch gebied met natuur en landschapswaarden in het beheersgebied van Schieland	-	-	
Landbouw en Bodemdaling	Verminderen van bodemdaling door oxidatie en mineralisatie van veen. Drooglegging wordt niet aangepast tot 40 cm	drooglegging	Drooglegging wordt niet aangepast tot 40 cm	Milieudenker
Landbouw en Bodemdaling	Drooglegging wordt gehandhaafd en gaat mee met bodemdaling (volgens beleidsplan)	drooglegging	Drooglegging blijft ondanks bodemdaling max. 60 cm	Individualist / Hierarchist
<b>Water</b>				
<b>Doelstellingen</b>	<b>Streefbeeld</b>	<b>Doelvariabele</b>	<b>Doelwaarde</b>	<b>Perspectief</b>
Waterkwaliteit	Verbeteren waterkwaliteit tot zeer goede kwaliteit voor natuur en zwemwaterkwaliteit in de rotte meren. Sterke vermindering nutriëntenbelasting	Concentratie N, P, Cl	Zwemwater: <2000 E.coli per 100 ml	Milieudenker
Waterkwaliteit	Verbeteren waterkwaliteit tot zwemwaterkwaliteit in de rotte meren en geen verzilting in landbouwgebieden. Vermindering nutriëntenbelasting	Concentratie N, P, Cl	Cl ≤ 200 mg/l in glastuinbouwgebied, ≤1000mg/l veeteelt; Zwemwater: <2000 E.coli per 100 ml	Hierarchist
Waterkwaliteit	Verbeteren waterkwaliteit tot zwemwaterkwaliteit in de rotte meren en geen verzilting in landbouwgebieden (als het niet te veel kost)	Concentratie N, P, Cl	Cl ≤ 200 mg/l in glastuinbouwgebied, ≤1000mg/l veeteelt; Zwemwater: <2000 E.coli per 100 ml	Individualist

<b>Stedelijk gebied</b>				
<b>Doelstellingen</b>	<b>Streefbeeld</b>	<b>Doelvariabele</b>	<b>Doelwaarde</b>	<b>Perspectief</b>
Stedelijk gebied	Uitbreiding stedelijk gebied met bestaande plannen	Areaal	zie plan milieu en water provincie	Milieudenker
Stedelijk gebied	Matige uitbreiding stedelijk gebied (incl. bestaande plannen)	Areaal	+ 50% stad (volgens nop rapport)	Hierarchist
Stedelijk gebied	Grote uitbreiding stedelijk gebied (incl. bestaande plannen)	Areaal	+ 70% stad (volgens nop rapport)	Individualist
<b>Natuur</b>				
<b>Doelstellingen</b>	<b>Streefbeeld</b>	<b>Doelvariabele</b>	<b>Doelwaarde</b>	<b>Perspectief</b>
Natuur	Implementatie verbindingzones (uit streekplan). Daarnaast nieuw natuurgebied (met natuurdoeltype)	Areaal		Milieudenker
Natuur	Implementatie verbindingzones (uit streekplan).	Areaal		Hierarchist
Natuur	-	Areaal		Individualist
<b>Recreatie</b>				
<b>Doelstellingen</b>	<b>Streefbeeld</b>	<b>Doelvariabele</b>	<b>Doelwaarde</b>	<b>Perspectief</b>
Recreatie	Goede zwemwaterkwaliteit. Handhaven huidig areaal.	Areaal		Hierarchist / Milieudenker
Recreatie	Toename huidig areaal	Areaal		Individualist
<b>Landbouw</b>				
<b>Doelstellingen</b>	<b>Streefbeeld</b>	<b>Doelvariabele</b>	<b>Doelwaarde</b>	<b>Perspectief</b>
Landbouw	Toename glastuinbouw	Areaal en saldo		Individualist / Hierarchist
Inkomen	Behoud agrarische werkgelegenheid en sociale structuur van het platteland	Totale saldo uit landbouw		Hierarchist
Flexibele landbouw	Verbouwen zouttolerante gewassen	Areaal		Milieudenker
Biologische landbouw	Vitaal platteland met hoogwaarde producten	Areaal		Milieudenker

### **3.6 Aandachtspunten**

In het gebied zijn er allerlei door elkaar heenlopende ontwikkelingen:

- maatschappelijke ontwikkelingen:
  - toename bevolking;
  - ruimte voor recreatie;
  - verplaatsing glastuinbouw;
  - ruimte voor natuur;
  - openstellen Haringvliet.
- fysisch-hydrologische veranderingen
  - bodemdaling;
  - verandering neerslag en verdamping;
  - verandering rivierafvoer;
  - zeespiegelrijzing;

De ambities van het Hoogheemraadschap van Schieland en de Provincie Zuid-Holland leiden samen met de genoemde ontwikkelingen tot een probleemstelling die betrekking heeft op de volgende watergerelateerde functies:

- landbouw;
- terrestrische natuur en aquatische natuur (via waterkwaliteit),
- recreatie;
- wonen.

Om het systeem te kunnen beoordelen op het dienen van deze functies, zijn de volgende indicatoren van primair belang:

- faalkans van het watersysteem;
- GHG, GVG, GLG;
- waterkwaliteit.

### **3.7 Maatregelen**

Aan de orde is de vraag hoe het systeem beïnvloed kan worden via maatregelen, waarbij gedacht wordt aan:

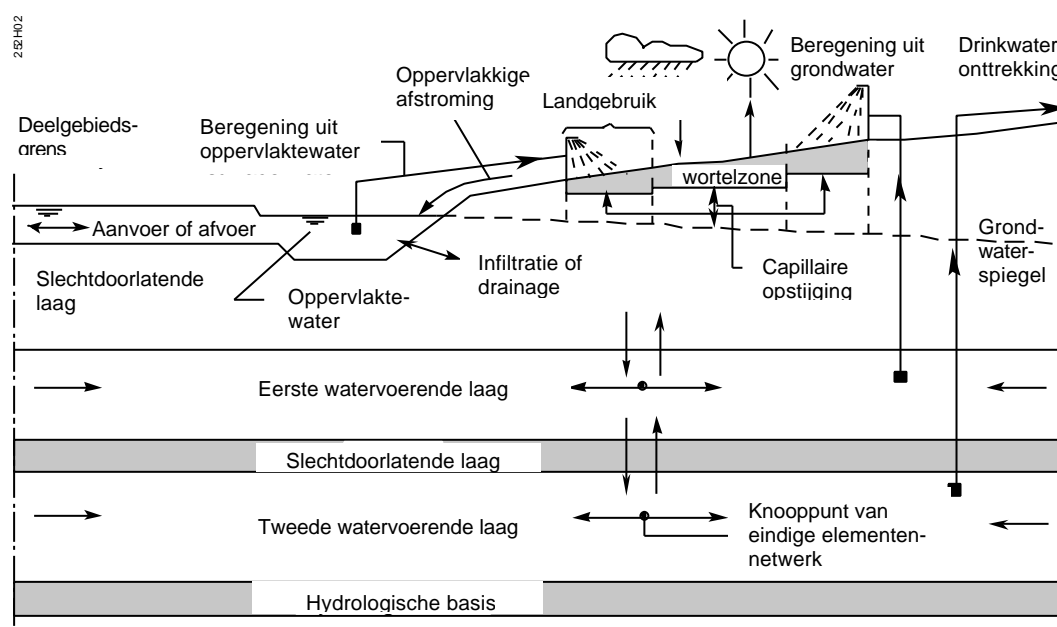
- vergroten waterberging;
- veranderen aan- en afvoerroute van water;
- vergroten gemaalcapaciteit;
- verbeteren waterkwaliteit.

Om hier iets mee te kunnen doen dient aan Waterwijs een aantal maatregelopties te worden aangereikt. De toegevoegde waarde van Waterwijs moet vervolgens vooral liggen bij het helpen vinden van een effectieve ruimtelijke configuratie van maatregelopties. Probleem in dit geheel is dat de wensen ten aanzien van het gebied niet 'objectief' zijn vast te stellen, maar afhangen van het perspectief dat men heeft. Hier wordt in de volgende paragraaf op ingegaan.

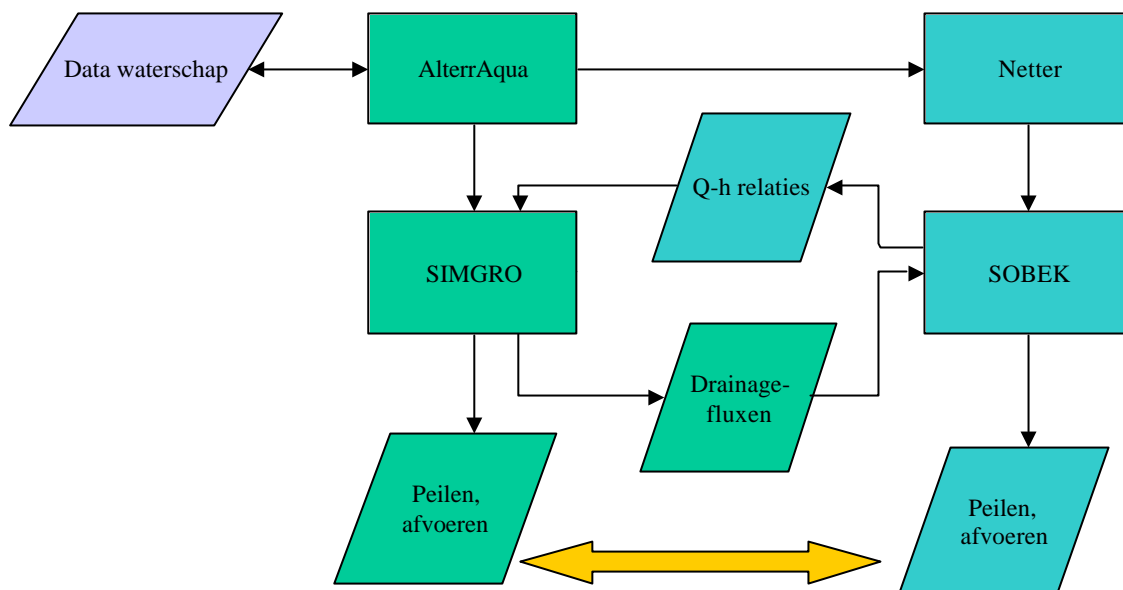
## 4 Modellering van de waterhuishouding

### 4.1 Inleiding

Om de effecten van ingrepen in waterhuishouding en grondgebruik goed te kunnen voorspellen moet gebruik worden gemaakt van een deterministisch model dat het volledige waterhuishoudkundige systeem gebiedsdekkend en niet-stationair beschrijft. In deze studie is de regionale waterhuishouding gesimuleerd met een combinatie van SIMGRO (Veldhuizen e.a., 1998) en SOBEK(WL| Delft Hydraulics, 2001). SIMGRO is een geïntegreerd hydrologisch model voor grond-, bodem- en oppervlaktewater (Figuur 5). Vanwege het integrale karakter van het model zijn de submodellen relatief eenvoudig gehouden. Het oppervlaktewatersubmodel, bijvoorbeeld, maakt gebruik van 'bakjes', en hanteert daarbij wat men zou kunnen noemen 'hydrologische' principes. Het model SIMGRO heeft zich reeds in vele integrale studies bewezen als hulpmiddel bij het beantwoorden van inrichtingsvragen. Het ging daar evenwel steeds om gebieden in 'Hoog Nederland'. Om het model ook geschikt te maken voor 'Laag Nederland' moest met name het oppervlaktewatermodel verder worden ontwikkeld, vooral wat betreft de inlaat van water. Maar ook dit verder ontwikkelde SIMGRO-model schiet conceptueel tekort voor de systemen in Laag Nederland als het niet wordt gecombineerd met een hydraulisch model zoals SOBEK. Men kan het ook zo zien: om een variant door te rekenen met SOBEK moeten 'belastingen' worden aangeleverd door SIMGRO. Zo beschouwd fungeert SIMGRO slechts als 'kop' van SOBEK.



Figuur 5 Schema van processen in het regionaal hydrologisch model SIMGRO



*Figuur 6 Overzicht van koppeling tussen SIMGRO en SOBEK*

De koppeling van SIMGRO met SOBEK (Figuur 6) gebeurt op twee manieren:

- via het aanleveren van zogenaamde  $Q(h)$ -relaties door SOBEK aan SIMGRO;
- via een nacalculatie van bepaalde *events* met SOBEK

In het onderstaande wordt eerst een korte beschrijving gegeven van de modellen SIMGRO en SOBEK. De koppeling wordt uitgewerkt aan de hand van de voorbeeldstudie. Op aspecten met betrekking tot de schematisering wordt ingegaan in par. 4.4.4.1 en wat betreft de uitwisseling van simulatie-uitkomsten in par. 4.4.4.4.

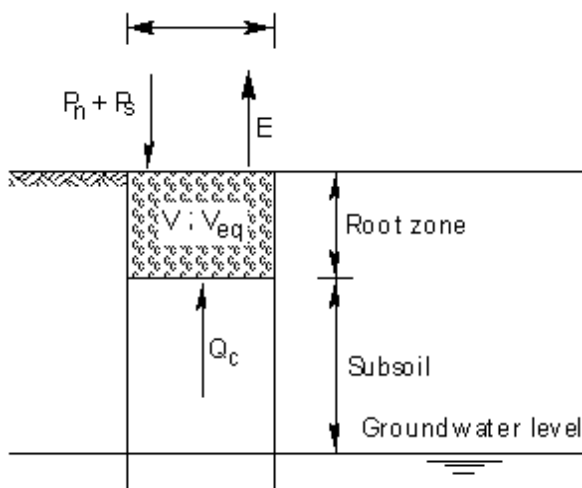


## 4.2 SIMGRO in vogelvlucht

### 4.2.1 Bodemwater

SIMGRO is ontwikkeld vanuit het besef dat in bijna heel Nederland de waterhuishouding een samenhangend geheel is van grond-, bodem- en oppervlaktewater. Tussen alle compartimenten van het hydrologische systeem is er een tweezijdige wisselwerking. Dit heeft bijvoorbeeld tot gevolg dat een door ingrepen veroorzaakte grondwaterstandstijging wordt tegengewerkt door een tegelijkertijd optredende toename van de capillaire opstijging, vooral op de droogtegevoelige zandgronden. Door de afgenomen afstand tussen grondwaterspiegel en wortelzone stijgt namelijk het bodemwater gemakkelijker op via de capillaire haarvaten in de bodem. Zou deze tegenkoppeling bij de modellering worden veronachtzaamd, dan zou de voorspelde grondwaterstijging een overschatting zijn van de in werkelijkheid optredende stijging.

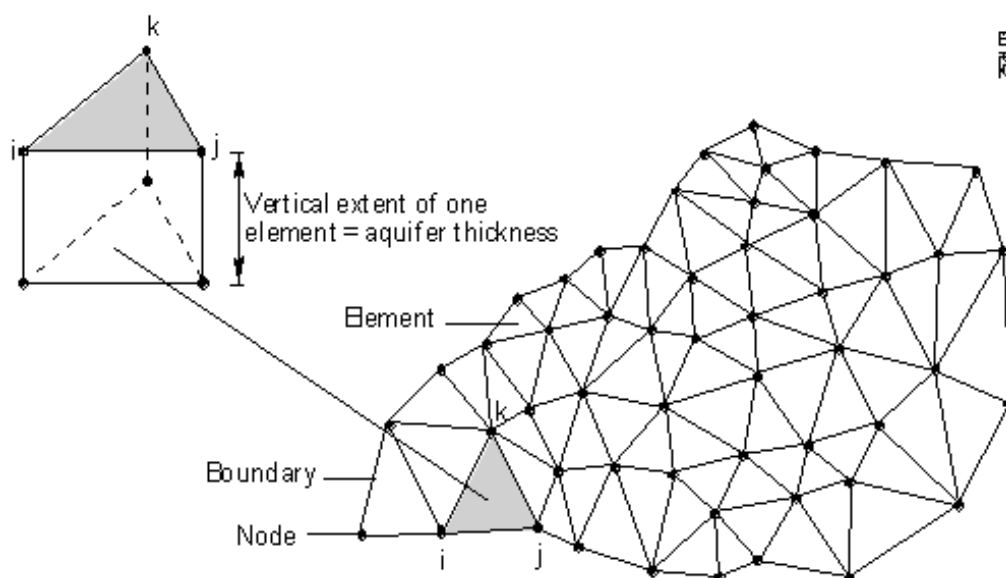
Het in detail modelleren van het bodemwater als onderdeel van een regionaal model zou een buitensporige rekeninspanning vereisen, die vaak niet zinvol zou zijn. Om toch de belangrijkste bodemwaterprocessen in beeld te brengen bevat SIMGRO een module met een eenvoudig bakmodel van de wortelzone (Figuur 7). Het model maakt gebruik van tabellen die voorafgaand aan de simulatie met een numeriek bodemwatermodel, CAPSEV (Wesseling, 1991), zijn verkregen. Het gaat hierbij o.a. om het verband tussen de capillaire opstijging en de diepte van de grondwaterstand en het vochtgehalte van de wortelzone. Doordat CAPSEV een numeriek model is en de bodemfysische eigenschappen per laag van 10 cm kunnen worden opgegeven, is het goed mogelijk om de invloed van storende lagen op de capillaire opstijging te simuleren. De rekenefficiency van het bak-model staat een simulatie toe met een tijdstap van een kwart-dag, voor ieder knooppunt van het regionale model.



*Figuur 7 Schema van model voor bodemwater*

### 4.2.2 Grondwater

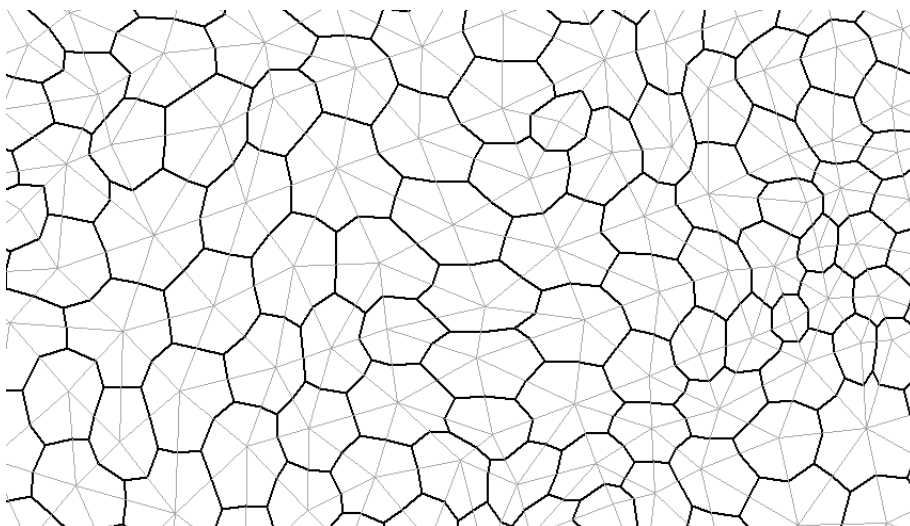
De stroming in het grondwatersysteem wordt berekend volgens de eindige-elementen methode. Deze methode beschrijft de stijghoogte en/of flux in ieder knooppunt met behulp van lineaire interpolatiefuncties. Daartoe wordt het gebied verdeeld in een aantal driehoekige elementen waarvan de hoekpunten knooppunten vormen. Dit netwerk is voor elke laag in het verticale vlak (zie ook verticale schematisatie) gelijk; zie Figuur 8. De driehoeken hoeven niet aan elkaar gelijk te zijn. Daardoor is het netwerk flexibel en kan het aan de vraagstelling worden aangepast. Het netwerk kan worden verdicht rond bijvoorbeeld onttrekkingen of beekdalen; de grenzen van afwateringseenheden en/of beleidsgrenzen in het netwerk kunnen worden gevolgd, en de afstand van de knooppunten kan naar de rand toenemen, waardoor een efficiënt netwerk kan worden gegenereerd. Om een oplossing te kunnen berekenen moeten langs de randen van het modelgebied zgn. randvoorwaarden bekend zijn.



Figuur 8 Eindige elementen-netwerk voor berekening van horizontale grondwaterstroming

Ten behoeve van de koppeling met andere modellen is het in verband met de uitwisseling van gegevens (grondwaterstanden, waterstromingen) praktischer om te werken met zogenaamde *invloedsoppervlakken* rond de knooppunten. Een invloedsoppervlak is het gebiedje rondom een knooppunt waarmee waterbalansen worden opgesteld en die de basis vormen van het simulatiemodel. Zij vormen tezamen een honingraatachtig mozaïek. Op basis van het netwerk van driehoeken wordt daarom via meetkundige interpolatie een honingraatachtige structuur van zulke invloedsoppervlakken of modelcellen gevormd; zie Figuur 9.

Deze invloedsoppervlakken worden ook wel knooppunten genoemd. In het navolgende wordt voor het gemak de term 'knooppunten' gebruikt in plaats van het technisch meer correcte 'invloedsoppervlakken'.

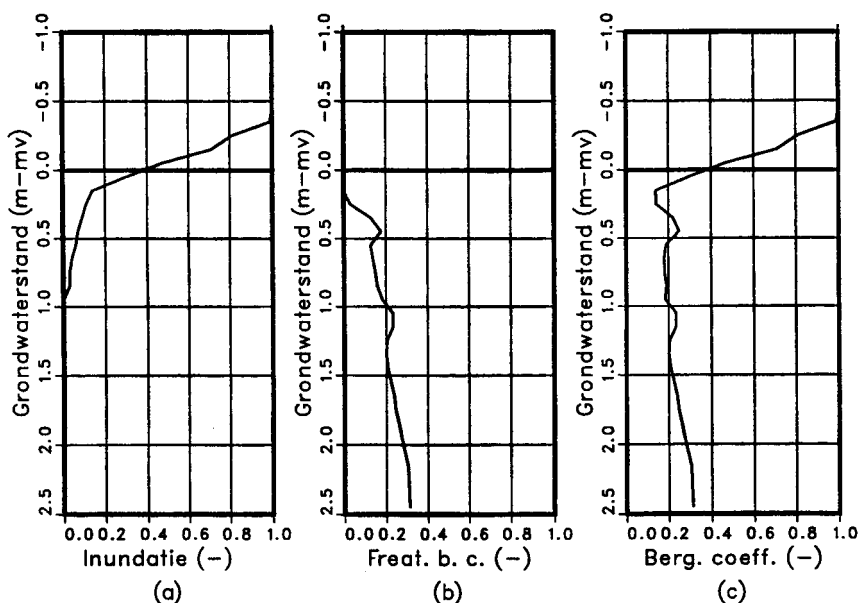


*Figuur 9 Meetkundige relatie tussen 'invloedsoppervlakken' (een honingraatstructuur met dikke lijnen) en het eindige elementennetwerk van driehoeken (dunne lijnen)*

De stroming van grondwater wordt in SIMGRO beschreven door de ondergrond te beschouwen als een opeenvolging van watervoerende en scheidende lagen, de zogenaamde quasi-3D methode. Daarbij wordt verondersteld dat de stroming in de watervoerende lagen tweedimensionaal in het horizontale vlak plaatsvindt, en dat de stroming in de scheidende lagen ééndimensionaal in het verticale vlak verloopt. Door deze aanname wordt de oplossing van de transportprocessen een stuk eenvoudiger waardoor een forse besparing op de benodigde rekentijd wordt gerealiseerd ten opzichte van een volledige 3-D-simulatie. Mits de schematisering in watervoerende en scheidende lagen op een verantwoorde manier gebeurt is het effect van deze aanname op de berekende potentialen (en grondwaterstand) te verwaarlozen.

De uitkomsten van bijvoorbeeld vernattingsscenario's worden in hoge mate beïnvloed door de manier waarop de berging in het freatische pakket wordt berekend. De freatische bergingscoëfficiënt wordt in de meeste quasi 3-D modellen van het verzadigde grondwater constant verondersteld. Deze aanname is vaak onterecht, zeker bij ondiepe grondwaterstanden, zoals in natte natuurgebieden. Door rekening te houden met het vochtprofiel in de bodem en eventuele berging op het maaiveld, berekent SIMGRO een realistische bergingscoëfficiënt.

In Figuur 10 is het verloop van de bergingscoëfficiënt van een zandgrond te zien ten opzichte van maaiveld (b), zoals berekend met het stationaire onverzadigde-zone-model CAPSEV (Wesseling, 1991). Tevens is de inundatiecurve weergegeven (a), die is berekend uit het lokale maaiveldverloop. Beide worden binnen SIMGRO verenigd tot de sterk niet-lineaire, maar realistische bergingscurve (c). De berekening ervan is in het oplossingsalgoritme van de grondwatermodule van SIMGRO verwerkt.



Figuur 10 Opbouw van niet-lineaire functie voor berekening van de freatische bergingscoëfficiënt:  $c$  (totale coëfficiënt) =  $a$  (berging op het maaiveld) +  $b$  (berging in de onverzadigde zone tussen grondwaterstand en onderkant wortelzone)

### 4.2.3 Oppervlaktewater

Bij het modelleren van oppervlaktewater is het van belang om de aspecten ontwatering en waterafvoer/toevoer afzonderlijk te behandelen.

#### **Ontwatering**

Binnen een afwateringseenheid wordt onderscheid gemaakt tussen vijf categorieën van waterlopen:

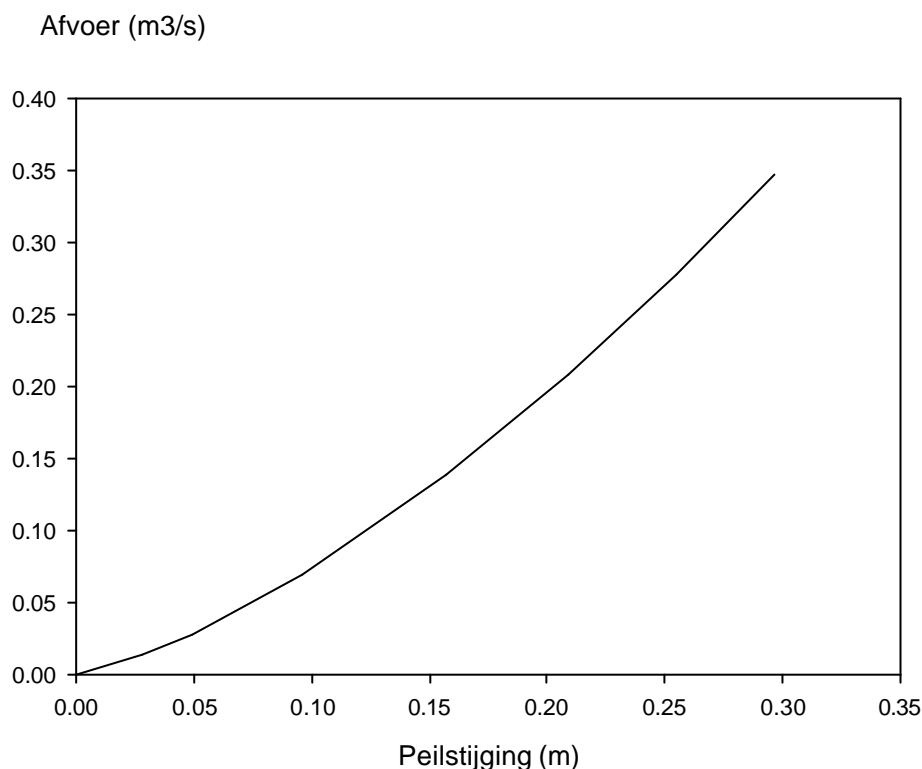
- primaire waterlopen (beken, kanalen, rivieren);
- secundaire waterlopen (beekjes, sloten in beheer bij het waterschap);
- tertiaire waterlopen (sloten);
- drains;
- greppels.

Een (of meerdere) van deze ontwateringsmiddelen is in een knooppunt van het model actief als aan één van de volgende voorwaarden is voldaan:

- het grondwaterpeil bevindt zich boven de bodem van het ontwateringsmiddel;
  - het oppervlaktewater bevindt zich boven de bodem van het ontwateringsmiddel.
- Afhankelijk van de omstandigheden (grondwater hoger dan oppervlaktewater, of omgekeerd) is er sprake van drainage of infiltratie.

### Waterafvoer

De waterbalans van een afwateringseenheid wordt gesimuleerd met één reservoir voor het geheel van grotere en kleinere waterlopen. Deze reservoirs zijn als een cascade aan elkaar gekoppeld, met samenstromingen en splitsingen. Om te kunnen rekenen, moet voor ieder reservoir een zogenaamde  $Q(h)$ -relatie bekend zijn, d.w.z. een relatie tussen de afvoer en het peil. Een voorbeeld van een dergelijke relatie is weergegeven in Figuur 11. Het gegeven voorbeeld is afgeleid uit rekenexperimenten met SOBEK.



*Figuur 11 Voorbeeld van een zogenaamde  $Q(h)$ -relatie van een oppervlaktewatertraject in SIMGRO. In dit geval gaat het om een relatie tussen de peilstijging t.o.v. het streefpeilniveau, dat is afgeleid met het model SOBEK.*

Om te kunnen rekenen, moet behalve een  $Q(h)$ -relatie ook een bergingsrelatie – een  $S(h)$ -relatie – bekend zijn van ieder oppervlaktewatertraject. Deze  $S(h)$ -relaties worden aan de hand van de GIS-bestanden afgeleid.

Per tijdstap wordt het hele netwerk van reservoirs één-voor-één doorgerekend, in de volgorde van bovenstrooms naar benedenstrooms. Deze manier van werken vereist dat er geen 'rondgangen' in het netwerk zelf mogen zijn. Om toch een rondgang te kunnen simuleren – want die zijn er in de praktijk – moet gebruik worden gemaakt van een aparte soort verbinding. Daar wordt op ingegaan bij de beschrijving van inlaatsimulatie.

Bij de berekening van een nieuwe waterstand wordt als volgt te werk gegaan. Als randvoorwaarde wordt aangenomen dat de instroom aan de bovenstroomse kant

reeds bekend is,  $Q_{ir}$ . Ook de laterale toevoer van drainagewater wordt bekend verondersteld aan het begin van de oppervlaktewatertijdstap,  $Q_{lat}$ . Vervolgens wordt het nieuwe peil berekend aan de hand van de waterbalans, waarbij de uitstroom geheel afhankelijk wordt gesteld van het *nieuwe* peil. Er wordt dus gewerkt met een 'impliciet' schema, met het peil  $h_t$  als enige (onafhankelijke) onbekende:

$$S(h_{t-\Delta t}) + (Q_{in} + Q_{lat}) \cdot \Delta t = S(h_t) + Q_{uit}(h_t) \cdot \Delta t$$

waarin:

- $S(h_{t-\Delta t}), S(h_t)$  : berging aan het begin/einde van de tijdstap ( $m^3$ )
- $h_{t-\Delta t}, h_t$  : oppervlaktewaterpeil ten tijde  $t-\Delta t$  (bekend) en  $t$  (onbekend) (m)
- $Q_{in}$  : bovenstroomse toevoer ( $m^3/s$ )
- $Q_{lat}$  : laterale toevoer van drainagewater ( $m^3/s$ )
- $Q_{uit}(h_t)$  : benedenstroomse afvoer ( $m^3/s$ )

Om deze vergelijking snel op te kunnen lossen wordt eerst een samengestelde  $SQ(h)$ -tabel gemaakt, waarin zowel het bergings- als het afvoereffect van  $h_t$  in is verwerkt. Aangezien de linkerzijde van de balans als bekend wordt verondersteld, kan de vergelijking door een simpele tabelinterpolatie worden opgelost. Hoewel het per traject een impliciet schema is, geldt dat natuurlijk niet voor het oppervlaktewaterstelsel als geheel, want de trajecten worden één-voor-één berekend.

Het gehanteerde concept heeft natuurlijk zijn beperkingen, vooral als gevolg van het aangenomen eenduidige verband tussen afvoer en peil. In werkelijkheid is er sprake van hysteresis: bij stijgende waterstand is er een andere verband tussen peil en afvoer dan bij dalende waterstanden. Bij het afleiden van de  $Q(h)$ -relaties kan hier eventueel rekening mee worden gehouden, door reken-experimenten met het hydraulische model op een *niet-stationaire* manier uit te voeren. Aangezien het vooral gaat om het afschatten van de faalkans van het systeem, ligt het dan voor de hand om uit de experimenten het hoogste geregistreerde peil bij een bepaalde afvoer te selecteren. Met deze  $Q(h)$ - relatie geeft SIMGRO vervolgens bovenwaardeschattingen.

Een aantal opties zijn toegevoegd om het oppervlaktewaterconcept nog wat op te rekken. Ten eerste betreft dat de simulatie van een afvoerblokkade. Indien een peil berekend wordt dat lager is dan het *benedenstroomse* peil, dan wordt de afvoer vanuit het *bovenstroomse* traject even stopgezet, totdat het peil gestegen is tot een niveau dat minstens even hoog is als de benedenstroomse. In de loop van het onderzoek is een speciaal algoritme bedacht en geïmplementeerd voor bifurcaties (splittingsen). In principe zouden de  $Q(h)$ -relaties afgeleid uit rekenexperimenten met SOBEK ervoor moeten zorgen dat het water op de goede manier wordt verdeeld tussen de takken. Maar aangezien de SOBEK-experimenten zijn gedaan voor stationaire stroming, bleek het toch nuttig om in sommige situaties SIMGRO zelf in te laten grijpen bij de verdeling. Dat betreft dan met name situaties waarin als gevolg van tekortschietende gemaalcapaciteit er een sterke peilstijging gaat optreden, met als gevolg opstuwing van bovenstroomse waterstanden. Die opstuwing komt ook terecht bij bifurcaties. Het nieuwe algoritme in SIMGRO zorgt dan voor een dusdanige waterverdeling dat de peilen in de takken direct na de bifurcatie ongeveer gelijk met elkaar opgaan (in SIMGRO staat een eventueel kunstwerk niet precies op de bifurcatie, maar in een

volgend traject). Het verdeelmechanisme werkt als een soort ‘roterend snelvuurkanon’, waarbij de hele afvoer die naar het bifurcatiepunt stroomt altemnerend naar de takken wordt geleid: per oppervlaktewatertijdstap wordt bekeken welke van de takken het laagste peil heeft, en daar wordt het water naar toegestuurd. Gemiddeld over een kwart etmaal wordt dan een realistische verdeling berekend.

### **Watertoevoer**

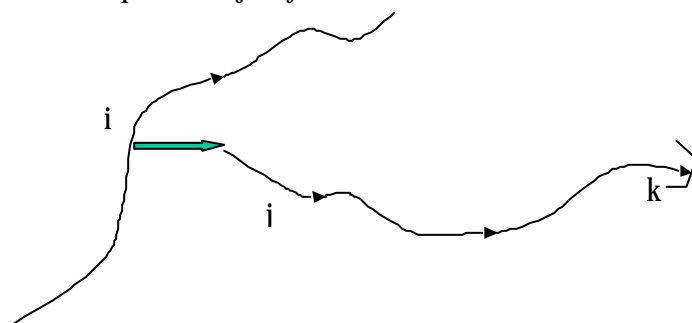
In Laag Nederland speelt watertoevoer een cruciale rol, daarom is SIMGRO uitgebreid met een aantal opties om die toevoer zo realistisch mogelijk te kunnen simuleren. In de oude versie werd het aanvoerwater niet verder getransporteerd dan het traject waar het werd ingelaten. In de nieuwe rekenwijze gebeurt dat wel, en stroomt het aanvoerwater daadwerkelijk door het netwerk. Het kunnen traceren van het aanvoerwater is essentieel voor het kunnen doen van waterkwaliteitsberekeningen.

Voor het simuleren van waterinlaat wordt gebruik gemaakt van speciale verbindingen in het netwerk. Deze speciale verbindingen hebben de volgende parameters (zie ook Figuur 12):

- het nummer  $i$  van het traject waar het water vandaan gehaald wordt, en de maximale uitputting (peildaling) die is toegestaan; indien de inlaat van buiten het gebied komt, dan wordt dit aangegeven door nummer 0;
- het nummer  $j$  van het traject waar het water naar toe gaat, en het streefpeil van dat traject;
- de maximale inlaatcapaciteit;
- het nummer  $k$  van het traject (optie) waar naar wordt gekeken bij het afregelen van de inlaat, en het minimumdebiet waar op gemikt moet worden.

In het algoritme voor het regelen van de inlaatcapaciteit wordt per tijdstap van het oppervlaktewatermodel de inlaat bijgesteld. Indien een traject  $k$  is opgegeven voor het afregelen (bijvoorbeeld zodat er net 5 l/s over een stuw gaat), dan wordt eerst gekeken of het gevraagde debiet wordt gehaald. Zo niet, dan wordt de inlaat opgehoogd, maar alleen als aan de volgende voorwaarden is voldaan:

- de maximaal toegestane uitputting van traject  $i$  nog niet is bereikt;
- de maximale inlaatcapaciteit wordt niet overschreden;
- het streefpeil in traject  $j$  wordt niet overschreden.

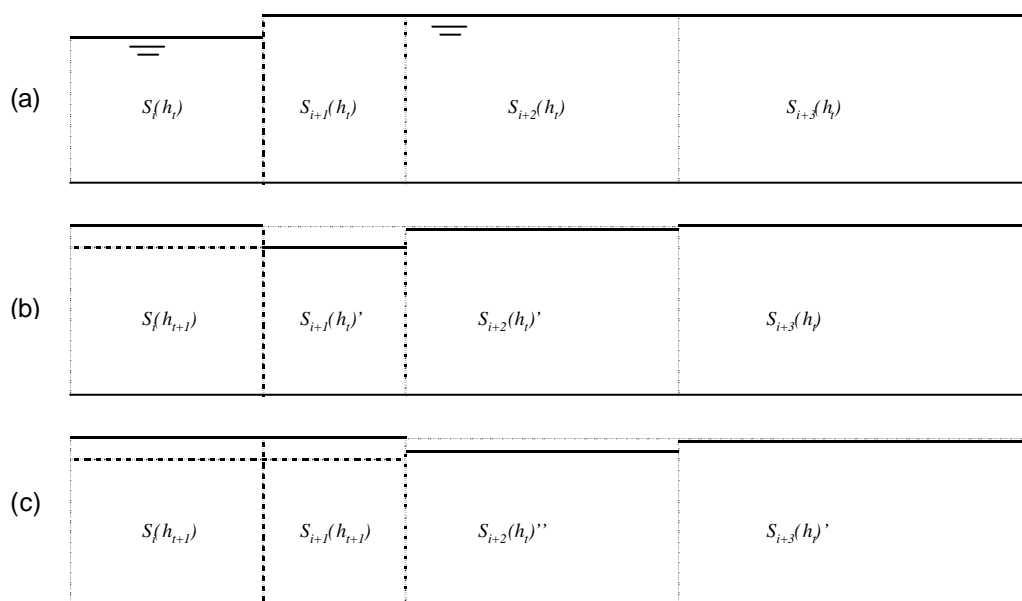


Figuur 12 Inlaatverbinding in SIMGRO. Verklaring van de symbolen:

- $i$  nummer van traject van waar water wordt ingelaten
- $j$  nummer van traject waar water naar toe gaat
- $k$  nummer van traject waar inlaat op wordt afgeregeld

Als het benedenstroomse peil stijgt als gevolg van inlaat, dan gaat het model stroming in de ‘omgekeerde’ richting berekenen. In dat geval wordt er van uitgegaan dat de stroming frictieloos plaatsvindt: er wordt ‘geschoven’ met water alsof het in dozen zit op een spiegelgladde vloer. Aangezien het in de meeste gevallen om aanvoersituaties zal gaan, zal deze aanname niet ver van de werkelijkheid liggen, doordat de fluxen relatief beperkt zijn.

In Figuur 13 wordt geïllustreerd hoe dit algoritme is geïmplementeerd. Uitgebeeld is de nieuwe berekening van het peil in traject  $i$ . Aangezien het traject  $i+1$  korter is dan het traject  $i$ , is het fricteloos ‘schuiven’ van water vanuit  $i+1$  naar  $i$  niet voldoende om  $i$  op het originele peil van  $i+1$  te brengen. Daarom kijkt het algoritme ook nog een traject verder, om daar ook eventueel water vandaan te halen. De in de figuur aangegeven situaties voorzien van een ‘ zijn tussensituaties, die alleen voor de berekening dienen. In stap (c) wordt het definitieve peil van traject  $i+1$  berekend, dat op hetzelfde niveau komt als dat van traject  $i$ . Beide peilen zijn gelijk geworden aan het originele peil van  $i+2$ . In dit geval treedt er geen enkel peilverlies op. Maar indien er twee relatief korte trajecten achterelkaar zijn, dan treedt er onvermijdelijk enig peilverlies op. Op zich is dat niet zo erg, want in de praktijk is er natuurlijk ook sprake van enig peilverlies in aanvoersituaties.



*Figuur 13 Rekenwijze (in SIMGRO) voor stroming in de ‘omgekeerde’ richting. De aanname is dat het water in aanvoersituaties fricteloos kan worden verplaatst. Bij de nieuwe berekening van het peil in traject  $i$ , gaat de uitgangssituatie (a) over in (b), waarbij ervoor gezorgd wordt dat er een sluitende waterbalans is, en dat het peil in  $i$  niet hoger stijgt dan in traject  $i+1$  en traject  $i+2$ . In stap (c) wordt het peil in traject  $i+1$  op het niveau van  $i+3$  gebracht, enz. Het netto effect is het ‘schuiven’ met water*



### ***Vertaling van waterpeilen naar knooppunten***

De gesimuleerde oppervlaktewaterstand per afwateringseenheid wordt vertaald naar een oppervlaktewaterstand in de knooppunten van die afwateringseenheid. In bepaalde situaties, zoals in sterk overgedimensioneerde systemen, zal de oppervlaktewaterspiegel horizontaal lopen. In andere gebieden, zoals hellende zandgebieden zal de oppervlaktewaterspiegel ongeveer het lokale maaiveld volgen. De gebruiker moet hiervoor per afwateringseenheid een optie kiezen.

#### **4.2.4 Integrale SIMGRO-model**

In het integrale model worden de submodellen in aangeroepen in de volgorde:

- onverzadigde zone met tijdstap grondwatertijdstap  $t_g$ ;
- oppervlaktewater en drainage in een *subloop* met tijdstap  $t_s$ ;
- grondwater met tijdstap  $t_g$

Typische waarden voor de tijdstappen zijn respectievelijk 0,25 dag voor het grondwater en 0,01 dag voor het oppervlaktewater. Dat betekent dat het oppervlaktewater via een *subloop* van 25 stappen wordt berekend. Bij iedere tijdstap van het oppervlaktewatermodel wordt de drainageflux berekend op basis van de laatste informatie over de grondwaterstand en de oppervlaktewaterstand. De gecumuleerde drainage (van 25 tussenstappen) wordt vervolgens gebruikt bij het berekenen van nieuwe grondwaterstanden.

### 4.3 SOBEK in vogelvlucht

SOBEK is ontwikkeld als een breed inzetbaar instrumentarium om problemen in de watersector te bestuderen. Om zo goed als mogelijk in te spelen op de behoefte van diverse gebruikersgroepen zijn enkele parallelle productlijnen van SOBEK ontworpen:

- SOBEK–River voor rivieren;
- SOBEK–Rural voor landelijke gebieden;
- SOBEK–Urban voor stedelijke gebieden.

SOBEK– Rural is een instrument dat is ontwikkeld voor regionale waterbeheerders om scenario's te kunnen simuleren om op basis van een verbeterd inzicht te komen tot beslissingen over optimaal waterbeheer in regionale gebieden. SOBEK–Rural simuleert zowel waterkwantiteit als waterkwaliteit. In voorliggend onderzoek is SOBEK–Rural ingezet in combinatie met SIMGRO. In de rest van dit document zal gesproken worden over SOBEK, als feitelijk SOBEK–Rural wordt bedoeld.

#### 4.3.1 Eigenschappen

##### **Modulaire opzet**

SOBEK beschikt over de volgende modules:

- CF (Channel Flow) voor de berekening van stroming in netwerken van sloten, boezems, kanalen, leidingen en beken, waarin opgenomen een breed scala van kunstwerken, zoals stuwen, duikers, uitwateringssluizen en pompen;
- RR (Rainfall Runoff) voor de berekening van het neerslag-afvoer proces;
- RTC (Real-Time-Control) voor de sturing van kunstwerken in een beheersgebied;
- WQ (Water quality) voor de berekening van de effecten van emissies op een regionaal gebied.

Voor dit onderzoek is vooralsnog slechts gebruik gemaakt van de Channel Flow module. De reactie van de afvoer op de neerslag wordt in dit onderzoek toegeleverd vanuit SIMGRO. Waterkwaliteit zal in een latere fase worden toegevoegd. Ook voor sturing is dit mogelijk.

##### **Rekenschema**

SOBEK heeft een robuust rekenhart dat strikt massabehoudend is. Voor de beschrijving van de waterbeweging worden de volledige Saint Venant vergelijkingen opgelost met het impliciete Stelling-schema:

$$\boxed{\frac{\delta A_f}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = q_{\text{lat}}} \quad \text{en} \quad \boxed{\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left( \frac{Q^2}{A_f} \right) + g \cdot A_f \cdot \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} - W_f \cdot \frac{\tau_{wi}}{e_w} = 0}$$

waarin:

- $A_f$  : doorstroomd oppervlak ( $m^2$ )
- $q_{lat}$  : laterale toevoer per eenheid van lengte ( $m^2/s$ )
- $Q$  : afvoer ( $m^3/s$ )
- $t$  : tijd (s)
- $x$  : afstand (m)
- $g$  : versnelling van de zwaartekracht ( $m/s^2$ ) (= 9,81)
- $h$  : waterpeil (m) (ten opzichte van referentie niveau)
- $C$  : Chézy coëfficiënt ( $m^{1/2}/s$ )
- $R$  : hydraulische straal (m)
- $W_f$  : doorstroomde breedte (m)
- $t_{wi}$  : windkracht ( $N/m^2$ )
- $\rho$  : dichtheid van de vloeistof ( $kg/m^3$ ) (voor water normaal 1000)

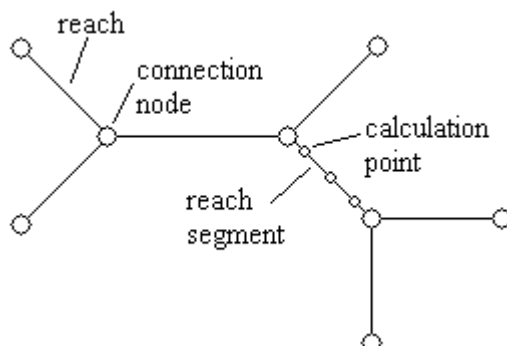
Dit rekenschema is gebaseerd op een rekenrooster waarbij afwisselend waterstanden en afvoeren worden berekend.

### **Efficiency**

Het systeem van vergelijkingen wordt efficiënt opgelost door een algoritme op basis van netwerk structuur herkenning. Hiermee neemt de rekentijd voor simulaties van stroming in netwerken in veel gevallen slechts lineair toe met een toenemende grootte van het stelsel. Dit stelt de gebruiker in staat om vele duizenden takken in het netwerk op te nemen. Verder wordt de efficiency vergroot door toepassing van een zelfselecterende tijdstap.

### **4.3.2 Netwerk**

Een SOBEK netwerk is opgebouwd uit lijnelementen (*reaches*). De lijnelementen zijn onderling verbonden met verbindingsknopen (*connection nodes*). De reaches kunnen naar believen worden gesplitst in meerdere segmenten (*reach segments*), die onderling verbonden zijn met rekenpunten (*calculation nodes*). Figuur 14 geeft hiervan een overzicht.



Figuur 14 Sobek-CF-netwerk schematisatie

De waterstanden worden weergegeven in de knopen, de waterstroming wordt weergegeven in de segmenten. Daarnaast zijn in SOBEK model nog een aantal andere knooptypen opgenomen. Het betreft naast de al genoemde connection nodes:

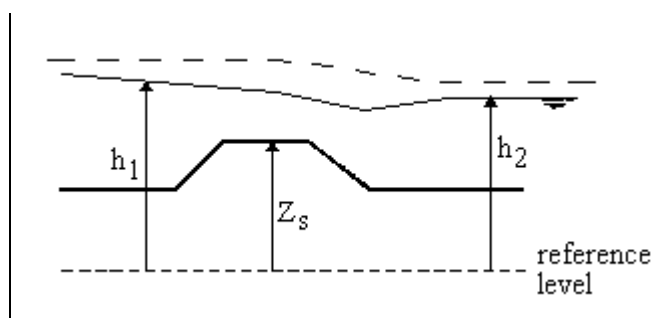
- Randknopen (Boundary nodes);
- Stuwen (Weirs);
- Onderlaten (Orifices);
- Gemalen (Pump Stations).

De randknopen in het model zijn zodanig gedefinieerd dat ze geen invloed hebben op waterbeweging in het model. Ze geven feitelijk alleen de plekken aan waar het water het gebied wordt uitgemaal.

### 4.3.3 Kunstwerken

#### **Stuwen**

Stuwen worden in het gebied gebruikt om de peilvakken te scheiden. Het principe van deze stuwen is weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15 Principe van een stuw

Hierin is:

- $h_1$  : bovenstroomse waterpeil (m) (peil in bovenstroomse knoop)
- $h_2$  : benedenstroomse waterpeil (m) (peil in benedenstroomse knoop)
- $z_s$  : kruinhoogte (m)

Afhankelijk van de boven- en benedenstroomse waterstanden zal de stuw al dan niet verdrongen zijn. SOBEK past de formules voor de stuw automatisch aan op de optredende situatie. Deze kan dus per tijdstap veranderen van vrije stuw naar verdrongen stuw en omgekeerd. In principe kan het water in twee richtingen over de stuw heen stromen. Als de waterstand aan weerszijde van de stuw onder de kruinhoogte staat, zal er geen water over de stuw heen stromen.

De gehanteerde formules voor een stuw zijn:

Formules voor een vrije stuw

$$Q = c_e \cdot c_w \cdot W_s \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot (h_1 - z_s)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{en} \quad A_f = W_s \cdot \frac{2}{3} \cdot (h_1 - z_s)$$

Formules voor een verdronken stuw

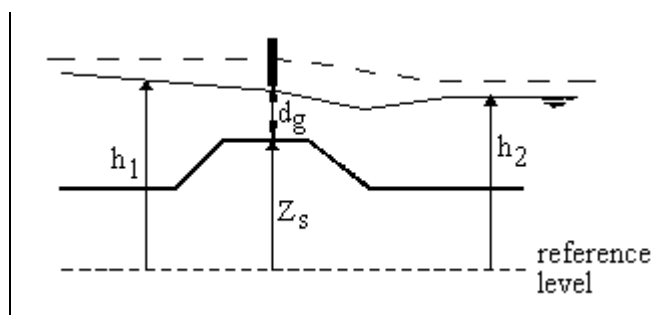
$$Q = c_e \cdot c_w \cdot W_s \cdot \left( h_1 - z_s - \frac{u_s^2}{2 \cdot g} \right) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} \quad \text{en} \quad A_f = W_s \cdot \frac{2}{3} \cdot \left( h_1 - z_s - \frac{u_s^2}{2 \cdot g} \right)$$

waarin:

- $Q$  : afvoer over de stuw ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $A_f$  : doorstroomd oppervlak ( $\text{m}^2$ )
- $c_e$  : afvoer coëfficiënt (-)
- $c_w$  : laterale contractie coëfficiënt (-)
- $W_s$  : kruinbreedte (m)
- $g$  : versnelling van de zwaartekracht ( $\text{m}/\text{s}^2$ ) (= 9,81)
- $h_1$  : bovenstroomse waterpeil (m)
- $h_2$  : benedenstroomse waterpeil (m)
- $z_s$  : kruinhoogte (m)
- $u_s$  : stroomsnelheid over de kruin (m/s)

### Onderlaten

Het principe van onderlaten is weergegeven in Figuur 16.



Figuur 16 Principe van een onderlaat

Hierin is:

- $h_1$  : bovenstroomse waterpeil (m) (peil in bovenstroomse knoop)
- $h_2$  : benedenstroomse waterpeil (m) (peil in benedenstroomse knoop)
- $z_s$  : kruinhoogte (m)
- $d_g$  : openingshoogte (m)

Afhankelijk van de waterdiepte zal de overlaat al dan niet verdronken zijn. Als de waterstand boven de kruin lager wordt dan de openingshoogte gaat de onderlaat

functioneren als een stuw. SOBEK past de formules voor de onderlaat automatisch aan op de optredende situatie. Deze kan dus per tijdstap veranderen van verdronken onderlaat naar vrije onderlaat naar verdronken stuw naar vrije stuw en omgekeerd. In principe kan het water in twee richtingen door de onderlaat heen stromen. Als de waterstand aan weerszijde van de onderlaat onder de kruinhoogte staat, zal er geen water door de onderlaat heen stromen.

In dit onderzoek wordt de inlaat door SIMGRO berekend, en aan SOBEK doorgegeven via de onttrekkingen en belastingen. Er wordt dus geen gebruik gemaakt van de speciale inlaatopties van SOBEK zelf. De gehanteerde formules voor een onderlaat zijn:

Formules voor een vrije onderlaat

$$Q = c_w \cdot W_s \cdot \mu \cdot d_g \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - (z_s + \mu \cdot d_g))} \quad \text{en} \quad A_f = W_s \cdot \mu \cdot d_g$$

Formules voor een verdronken onderlaat

$$Q = c_w \cdot W_s \cdot \mu \cdot d_g \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} \quad \text{en} \quad A_f = W_s \cdot \mu \cdot d_g$$

waarin:

- $Q$  : afvoer (m<sup>3</sup>/s)
- $A_f$  : doorstroomd oppervlak (m<sup>2</sup>)
- $\mu$  : contractie coëfficiënt (-) (normaliter 0,63)
- $c_w$  : laterale contractie coëfficiënt (-)
- $W_s$  : kruinbreedte (m)
- $d_g$  : openingshoogte (m)
- $g$  : versnelling van de zwaartekracht (m/s<sup>2</sup>) (= 9,81)
- $h_1$  : bovenstroomse waterpeil (m) (peil in bovenstroomse knoop)
- $h_2$  : benedenstroomse waterpeil (m) (peil in benedenstroomse knoop)
- $z_s$  : kruinhoogte (m)
- $u_s$  : stroomsnelheid over de kruin (m/s)

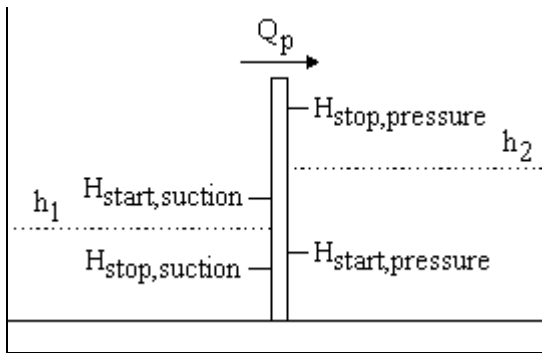
Indien de onderlaat functioneert als stuw worden de formules gehanteerd die daarbij vermeld staan.

### **Gemalen**

Het principe van de gemalen is weergegeven in Figuur 17. Hierin is:

- $h_1$  : bovenstroomse waterpeil (m) (peil in bovenstroomse knoop)
- $h_2$  : benedenstroomse waterpeil (m) (peil in benedenstroomse knoop)
- $Q_p$  : pompcapaciteit (m<sup>3</sup>/s)

Binnen SOBEK kan een gemaal in principe in twee richtingen pompen. Gemalen kunnen worden aangestuurd door een of meerdere aan- en afslagpeilen, zowel aan stroomopwaartse als aan stroomafwaartse zijde, maar er kan ook een vast debiet (over een bepaalde periode) worden opgelegd.



*Figuur 17 Principe van een gemaal met één capaciteits niveau*

De gebruikte formule is simpel. Vanaf een bepaald aanslagpeil gaat de pomp aan met een debiet gelijk aan de pompcapaciteit. Dit gaat door totdat een bepaald afslagpeil bereikt wordt.

## **4.4 Toepassing op Schieland**

### **4.4.1 Modelgrenzen en schematisering**

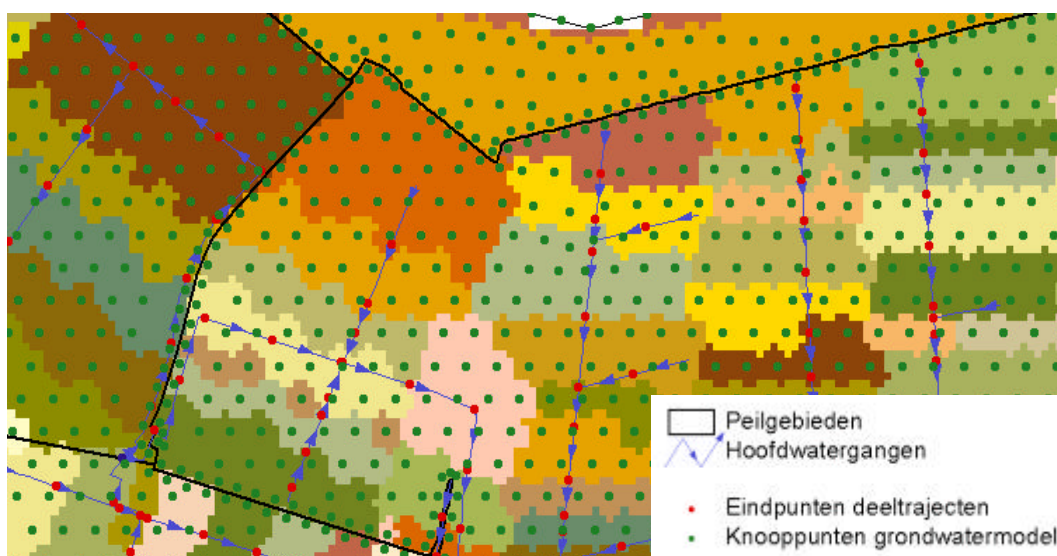
De keuze van de modelgrenzen wordt behalve door de kenmerken van het systeem ook bepaald door de doelstelling van het project. In deze studie is het ontwikkelen van een methodiek voor de aanpak van inrichtingsvraagstukken in Laag-Nederland van leidend belang, en niet zozeer het maken van een zo nauwkeurig mogelijk model van het studiegebied. Mede daarom is ervoor gekozen om de modelgrenzen vrijwel te laten samenvallen met het projectgebied: de grens is genomen op 300 m afstand van het studiegebied. Hydrologisch gezien is deze afstand te klein om bij het doorrekenen van maatregelen gevrijwaard te zijn van artefacten als gevolg van het niet mee veranderen van de randvoorwaarden. Om deze artefacten te voorkomen zou de modelrand eigenlijk op 3 keer de zogenaamde speidingslengte van de gebiedsgrens moeten lopen. In dit geval had dat betekend dat de grens op 3 keer 2500 m, zijnde circa 7,5 km van de modelrand had moeten lopen. Het modelgebied was dan 4 keer zo groot geworden. Gezien de vereiste inspanning voor het verzamelen van gegevens is daar van afgezien. Bij de beschouwing over de randvoorwaarden zal worden ingegaan op de beperkingen die de gekozen rand met zich meebrengt, en ook op een methode die het genoemde probleem van de artefacten sterk kan verminderen, zonder het modelgebied uit te breiden.

Zowel in tijd en ruimte dient te worden gediscrètiseerd. Deze schematisering is in deze paragraaf beschreven. De ruimtelijke indeling volgt een hiërarchisch stramien met in elkaar schoven indelingsniveaus:

- waterschap (modelgebied);
- peilgebieden;
- afwateringseenheden;
- knooppunten.

Het landoppervlak is ingedeeld in circa 30 000 knooppunten, waarbij de grootte varieert van minimaal 0,013 ha tot maximaal 2,0 ha. Om ervoor te zorgen dat de grenzen van de cellen de peilgebieden zo goed mogelijk volgen, zijn er voorafgaand aan het genereren van het eindige elementen netwerk een groot aantal vaste punten neergezet, met steeds rijen van knopen ter weerszijden van een peilgebiedsgrens (zie Figuur 18). In het model bestaat iedere afwateringseenheid uit een samenvoeging van een of meer invloedsoppervlakken. De feitelijke procedure is dus dat de knooppunten met hun invloedsoppervlakken eerst worden aangemaakt, en dan pas de afwateringseenheden. Op de schematisering van het oppervlaktewater wordt verder ingegaan in par. 4.4.4.1.





*Figuur 18 Indeling in afwateringseenheden op basis van het kortste afstand criterium naar het eindpunten van de oppervlaktewaterdeeltrajecten (rode stippen). De plaatsing van de knooppunten van het grondwatermodel is dusdanig dat de grenzen van peilgebieden ook in de modelschematisering worden aangehouden*

Ten behoeve van de grondwaterstroming dient de bodem geschematiseerd te worden tot een aantal goed doorlatende en minder doorlatende lagen. Voor het studiegebied zijn in totaal 6 lagen onderscheiden. Voor een verdere beschrijving zie par. 4.4.3.

De periode van 1 januari 1990 t/m 31 december 2000 is als rekenperiode gehanteerd. Voor het grondwatersysteem is gerekend met een tijdstap van 0,25 dag, voor het oppervlaktewater is gerekend met een tijdstap van 0,01 dag (circa ¼ uur).

## **4.4.2 Bodem-plant-atmosfeersysteem**

### **4.4.2.1 Neerslag en verdamping**

In de onderstaande tabel zijn de gegevens van de neerslag en verdamping opgenomen. De gegevens zijn gebaseerd op de gegevens van het weerstation te Rotterdam. In de tabel zijn de verdampingsgegevens voor verschillende typen van landgebruik opgenomen, namelijk voor een referentiegewas (Makkink), voor naaldbos, voor loofbos en voor kale grond.

Opvallend zijn de hoge neerslaghoeveelheden in de jaren 1998 t/m 2001 met tegen de 1000 mm of zelfs meer dan 1000 mm neerslag. De weergegeven verdampingshoeveelheden zijn potentiële waarden, welke binnen SIMGRO gecombineerd met vochttekorten en gewasfactoren tot actuele verdampingscijfers worden omgevormd.

Tabel 2 Meteorologische gegevens Rotterdam

Data*	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Gem. 1990- 2001
Neerslag	941	657	707	712	922	881	902	730	613	641	1121	1069	967	862
E_pot	500	553	614	557	584	550	563	615	548	593	535	595	552	574
E_pine	599	607	655	584	629	622	639	646	592	616	650	701	658	639
E_decid	455	499	517	475	517	491	505	527	472	508	502	555	510	511
E_bare	287	266	260	258	283	284	279	257	255	260	296	284	291	276

\*E\_pot : referentiegras (Makkink)

E\_pine : naaldbos

E\_decid : loofbos

E\_bare : kale grond

#### 4.4.2.2 Maaiveldhoogte

Voor de maaiveldhoogte is het Algemene Hoogtebestand Nederland gebruikt. Dit bestand heeft een detailniveau van 5x5 m. De maaiveldhoogte is opgeschaald naar 25x25 m, waarbij voor stedelijk gebied en waterlopen locale sterke hoogteverschillen eruit gefilterd zijn.

Vergelijking van de oorspronkelijke en de verbeterde maaiveldhoogtekaart laat zien dat:

- in de kassengebieden de hoogten met circa 4 m is verlaagd; dat is van top kas tot maaiveldhoogte. De maaiveldhoogten komen overeen met die van de topografische kaart;
- de hoogten van de vuilstort “de Rottebergen” zijn aanzienlijk verlaagd, maar blijven over het algemeen meters boven NAP;
- lijnvormige elementen als bijvoorbeeld de verhoogde snelwegen zijn over het algemeen verlaagd tot circa oorspronkelijk maaiveld. Lokaal komen er verhogingen voor. Het algemene beeld is echter dat het maaiveld verlaagd wordt (gemiddeld over het hele gebied met 18 cm, waarbij in circa 75% geen aanpassing plaatsvindt en als er wel een aanpassing plaatsvindt dan dus gemiddeld met circa 0,70 m).

Vervolgens is ter plaatse van de bredere waterlopen (>30 m) en de watervlakken het maaiveld verlaagd, in overeenstemming met de diepte.

Tabel 3 Overzicht voorkomen van verschillende landgebruiksvormen in het modelgebied

Code	Hoofdklasse	Subgroep	Klasse	Ha	%
1	Agrarische gebied		gras	3873	19
2			mais	280	1
3			aardappelen	981	5
4			bieten	612	3
5			granen	1194	6
6			overige landbouwgewassen	1234	6
8			glastuinbouw	1122	6
9			boomgaard	62	0
11	Bos		loofbos	154	1
12			naaldbos	5	0
16	Water		zoet water	1268	6
17			zout water	-	-
18	Bebouwd gebied		stedelijk bebouwd gebied	5056	25
19			bebouwing in buitengebied	79	0
20			loofbos in bebouwd gebied	364	2
21			naaldbos in bebouwd gebied	28	0
22			bos met dichte bebouwing	354	2
23			gras in bebouwd gebied	1865	9
24			kale grond in bebouwd buitengebied	22	0
25	Infrastructuur		hoofdwegen en spoorwegen	1263	6
26	Agrarisch gebied		bebouwing in agrarisch gebied	341	2
30	Natuur	Kustgebied	Kwelders	-	-
31			Open zand in kustgebied	-	-
32			Open duinvegetatie	-	-
33			Gesloten duinvegetatie	-	-
34			Duinheide	-	-
35		Heidegebied	Open stuifzand	-	-
36			Heide	-	-
37			Matig vergraste heide	-	-
38			Sterk vergraste heide	-	-
39		Hoogveen	Hoogveen	-	-
40			Bos in hoogveengebied	-	-
41		Moeras	Overige moerasvegetatie	-	-
42			Rietvegetatie	-	-
43			Bos in moerasgebied	-	-
44			Veenweidegebied	-	-
45			Overig open begroeid natuurgebied	22	0
			Totaal	20177	100

#### 4.4.2.3 Landgebruik

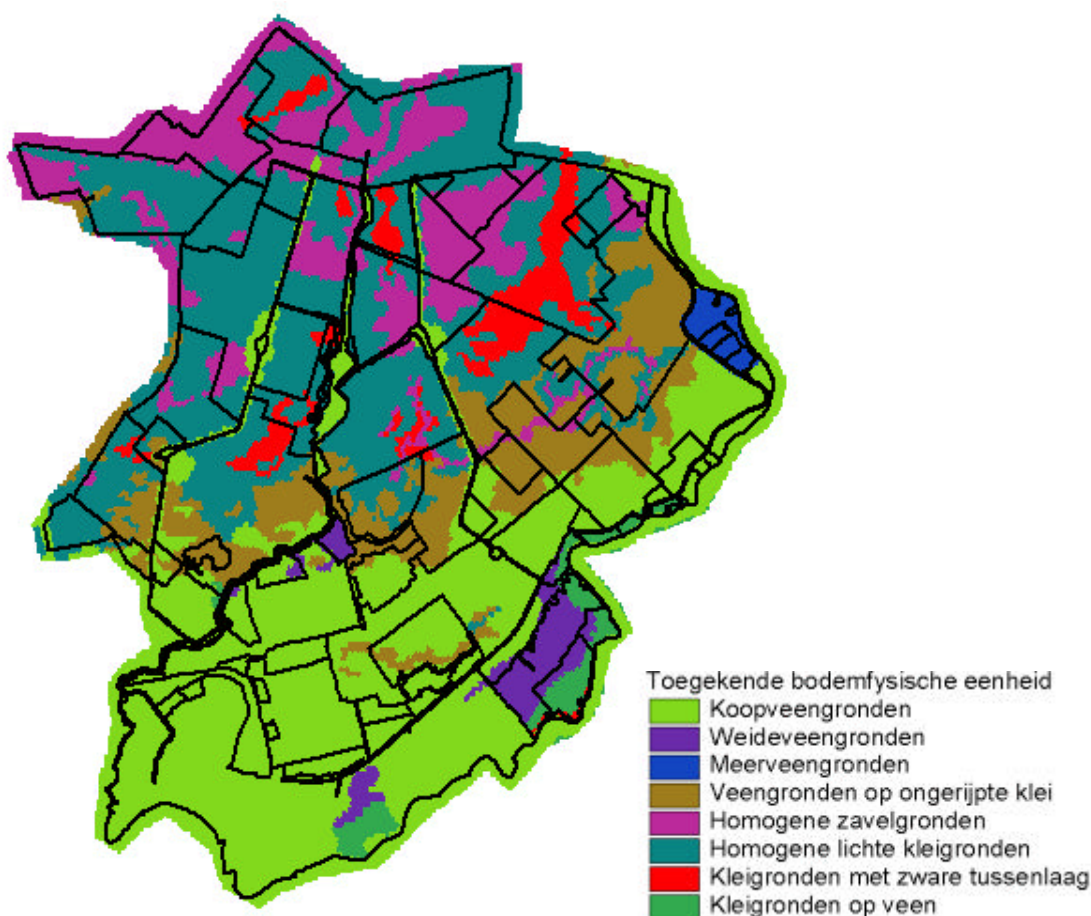
Voor de bepaling van het landgebruik (Tabel 3) is als basis de LGN4-kaart gehanteerd. In de onderstaande tabel zijn de landgebruiksvormen weergegeven. Eruit-springen de volgende landgebruiksvormen:

- stedelijke bebouwing: 25%;
- gras: 19%;
- akkerbouwgewassen: 21%.

#### 4.4.2.4 Onverzadigde zone

Om het watertransport in de bodem te kunnen modelleren zijn de bodems geschematiseerd naar bodemfysische eenheden. Een bodemfysische eenheid bevat informatie over de waterretentiekarakteristiek en de doorlatendheid van de lagen in de bovengrond en van de lagen in de ondergrond, de pF- en k(h)-relaties van de bouwstenen zijn afkomstig uit de Staringreeks (Wösten e.a., 2001). Er is een koppeling gemaakt tussen de Bodemkaart en die van het digitale bestand van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 250 000 (de basis is de PAWN-studie, Policy Analysis for Watermanagement in the Netherlands). Daartoe zijn vertaalslagen opgesteld overeenkomstig de methodiek van Wösten e.a. (1988), welke gebaseerd is op een grovere landelijke schaal, namelijk 1:250.000. In dit bestand is Nederland geschematiseerd naar 23 eenheden. Het resultaat voor het studiegebied wordt getoond in Figuur 19.

De bodemfysische parameters van de eenheden zijn ontleend aan de standaardbestanden. De effectieve dikte van de wortelzone is bepaald op basis van de bodemcode en het landgebruik. Voor de onverzadigde zone is voor het initiële bodemvochtgehalte de berekende situatie aan het einde van de simulatieperiode genomen.



*Figuur 19 Toegekende bodemfysische eenheden*

### 4.4.3 Grondwater

#### 4.4.3.1 Geohydrologische parameters

##### **Basisgegevens**

Voor de ondergrond waren twee bronnen van informatie direct beschikbaar:

- gegevens van het nationale grondwatermodel Nagrom;
- gegevens van een TNO-studie (TNO,2001).

Vanwege twijfels aan het realiteitsgehalte van de door TNO gecalibreerde parameters (waaronder extreem hoge doorlatendheden) is besloten voornamelijk uit te gaan van het Nagrom-bestand. Die gegevens bestaan uit:

- verticale hydraulische weerstanden. Opgemerkt wordt dat de verticale hydraulische weerstand van laag 1 inclusief de voedingsweerstand is;
- doorlaatvermogens van de watervoerende lagen;
- dikten van de watervoerende lagen;
- hydrologische bases voor de watervoerende lagen.

In Nagrom zijn voor het studiegebied zowel de bases als de dikten van de scheidende en de watervoerende lagen constant verondersteld (zie Tabel 4). Dit is overigens een grove schematisering.

*Tabel 4 Overzicht van de geohydrologische schematisatie van het Nagrom-model*

Laag	Dikte (m)	Basis (m-mv)	c/kD min.	c/kD max.
Scheidende laag 1	10	-10	1200 d	4500 d
Watervoerende laag 1	10	-20	150 m <sup>2</sup> /d	700 m <sup>2</sup> /d *
Scheidende laag 2	10	-30	10 d	10 d
Watervoerende laag 2	50	-80	600 m <sup>2</sup> /d	2800 m <sup>2</sup> /d *
Scheidende laag 3	10	-90	350 d	5000 d (Z)
Watervoerende laag 3	100	-190	1200 m <sup>2</sup> /d	2000 m <sup>2</sup> /d (N)

*\*Verdeling doorlaatvermogens in wvl 1 en 2 gelijkvormig*

Ten aanzien van het gebruik van de Nagrom-gegevens binnen deze studie zijn de volgende overwegingen van belang:

- binnen SIMGRO bepalen de dikten in combinatie met de doorlaatfactoren de c- en kD-waarden, welke waarden we al van het Nagrom-model hebben ontvangen. Hiervoor is het niet nodig om de dikten van de lagen nauwkeuriger in beeld te brengen;
- binnen SIMGRO zijn de dikten van belang voor het bepalen van de laag waarin oppervlaktewaterlopen insnijden. Dit kan aanzienlijke gevolgen hebben voor de ontwaterende werking van waterlopen en dus voor de resultaten van het model;
- als vervolg op de SIMGRO-berekeningen zullen waterkwaliteitsberekeningen worden uitgevoerd. Hiervoor zijn de dikten wel cruciaal, aangezien deze de volumes bepalen en daarmee de snelheid van verplaatsing door en verdunning in een bepaalde laag.

Tabel 5 Overzicht van de geohydrologische schematisatie van het TNO-model<sup>1</sup>

Laag	Dikte (m)	Basis (m-mv)	c/kD min.	c/kD max.
Scheidende laag 1	10	-15	950 d	3000 d
Watervoerende laag 1	25	-40	2500 m <sup>2</sup> /d	3500 m <sup>2</sup> /d
Scheidende laag 2	10	-50	500 d	2500 d
Watervoerende laag 2	75	-115	750 m <sup>2</sup> /d	1250 m <sup>2</sup> /d
Scheidende laag 3	20	-135	1400 d	1400 d
Watervoerende laag 3	90	-245	350 m <sup>2</sup> /d	550 m <sup>2</sup> /d (N)

\* bovendien is in het TNO-model een watervoerende laag als top op de deklaag opgenomen met een doorlaatvermogen van 1,5 m<sup>2</sup>/d

Ter vergelijking met de gegevens van Nagrom zijn eveneens de gegevens van TNO, (2001), opgenomen in deze beschrijving. Hierbij is uitgegaan van de gekalibreerde gegevens. In de onderstaande tabel is een overzicht weergegeven van de parameters zoals weergegeven voor het plangebied uit de TNO-studie.

Gezien het grote belang van de situatie in de deklaag voor de waterhuishoudkundige simulatie van het freatisch systeem is gebruik gemaakt van de in TNO (2001) gegeven kaart van zandbanen, die gereproduceerd wordt in Figuur 20.



Figuur 20 Zandbanen in de toplaag (bron: TNO, 2001)

<sup>1</sup> TNO maakt in een tabel in het rapport melding van een doorlaatvermogen van 35.000 m<sup>2</sup>/d . Dit komt niet overeen met de figuren. We gaan er vanuit dat het een typefout betreft en dat de waarde 3.500 m<sup>2</sup>/d moet zijn.

### ***Schematisering en parameterisering voor SIMGRO-model***

Bij het vertalen van de basisgegevens van het Nagrom-model (en de aanwezigheid van zandbanen) naar parameters van het SIMGRO-model is als volgt te werk gegaan:

- de weerstanden van de *deklaag* zijn aangepast op basis van de zandbanenkaart, waarbij er van uitgegaan is dat:
  - de zandgeulen begraven zijn, met een resterende dikte van de deklaag van 2 m;
  - de doorlaatfactor van de resterende dikte van de deklaag boven de zandgeul 0,01 m/d bedraagt; de weerstand van de deklaag voor de zandbanen komt daarmee op 200 dagen. Binnen SIMGRO wordt echter om praktische redenen de Nagrom-dikte van 10 m aangehouden en door het verhogen van de doorlaatfactor voor de zandbanen tot 0,05 m/d wordt de gewenste weerstand verkregen;
  - de IJssel ter plaatse van de zandbanen zal insnijden in het watervoerend pakket doordat hier de top van de zandbanen hoger ligt. Hier zal de minimale weerstand door de aanwezigheid van een sliblaag (en vanwege de infiltratie) circa 50 dagen bedragen. Bij de genoemde dikte van 10 m zal de doorlaatfactor hier 0,2 m/d bedragen.
  - de weerstand van de deklaag inclusief de voedingsweerstand/ drainageweerstand is. De drainageweerstand bedraagt over het algemeen circa 70 dagen (gedraineerde grond, met bij een afvoer van 7 mm/d een opbolling van 0,5 m en  $c = \Delta h/q$ ) en is dus slechts een fractie van de totale Nagrom-weerstand (minimaal 1200 dagen). Daarom zijn de gegevens hiervoor niet gecorrigeerd;
- voor het *eerste watervoerend pakket* wordt uitgegaan van de doorlaatfactoren van Nagrom en een dikte van 30 meter, leidend tot een drie maal zo groot doorlaatvermogen dan de oorspronkelijke Nagromgegevens. De reden hiervoor is de wens het model meer in overeenstemming te brengen met andere literatuurbronnen;
- voor de *eerste scheidende laag* is uitgegaan van een weerstand van 1500 dagen i.p.v. 10 dagen. Deze waarde komt beter overeen met de waarde uit de TNO-studie en lijkt een redelijke waarde;
- voor het *tweede watervoerend pakket*, de *tweede scheidende laag*, en het *derde watervoerend pakket* is zonder wijziging uitgegaan van de Nagrom-gegevens;

De Grondwaterkaart van Nederland geeft waarden voor de bergingscoëfficiënt van het eerste watervoerend pakket van  $2 \cdot 10^{-4}$  en  $10^{-3}$ . Voor dit project gaan we uit van een tussenwaarde van  $5,5 \cdot 10^{-4}$ : in deze studie is de reactiesnelheid van het grondwater op drukverstoringen van ondergeschikt belang. Voor de andere lagen gebruiken we waarden evenredig aan de dikte (uitgaande van de gemiddelde waarde van het eerste watervoerend pakket).

Tabel 6 Overzicht van de gehanteerde bergingsfactoren

Laag	Dikte (m)	Bergingsfactoren (-)	Bergingsfactoren* (1/m)
Scheidende laag 1	10	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Watervoerende laag 1	30	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Scheidende laag 2	10	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Watervoerende laag 2	50	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Scheidende laag 3	10	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Watervoerende laag 3	100	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$

\*in de eenheid zoals in SIMGRO ingevoerd

#### 4.4.3.2 Tijdsafhankelijke gegevens

##### Peilbuisgegevens

Voor de gegevens van de grondwaterstanden zijn er twee bronnen geraadpleegd:

- de gemeten grondwaterstanden/stijghoogten van TNO;
- berekende grondwaterstanden van NAGROM.

Deze twee gegevens bronnen zijn met elkaar vergeleken om de geschiktheid te bepalen van de Nagrom-gegevens als randvoorwaarden voor de modelrand in deze studie. Hierbij zijn de gemiddelden van peilbuizen met ten minste 100 metingen in de periode 1990-2000 vergeleken met de berekende stationaire stijghoogten van het Nagrom-model. In Tabel 7 zijn ter illustratie gegevens van verschillende peilbuizen opgenomen.

Tabel 7 Vergelijking gegevens TNO en Nagrom voor laag 2 (NAP -15 tot -35 m)

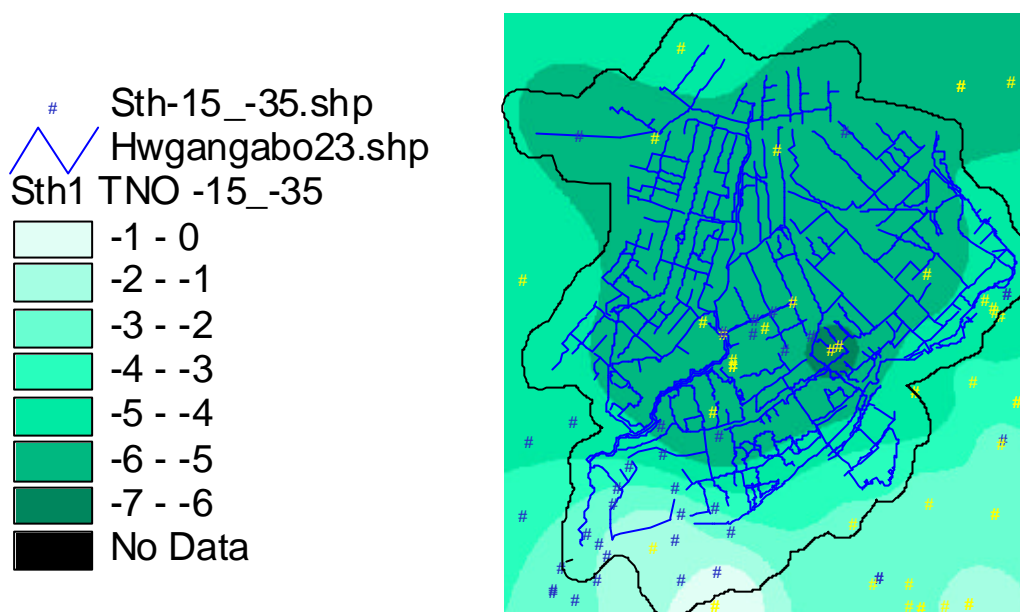
Peilbuis	Maaiveld-hoogte (m+NAP)	Diepte filter (m+NAP)	Aantal waarnemingen	Gem. TNO (m+NAP)	Stdev. TNO (m)	Gem. Nagrom (m+NAP)	Verschil TNO-Nagrom (m)
38AP0204_01	-5.56	-21.00	141	-6.26	0.14	-5.00	-1.26
38AP0030_02	-1.80	-21.70	183	-4.93	0.28	-3.70	-1.23
38AP0198_02	-5.26	-29.99	238	-5.82	0.11	-4.60	-1.22
38AP0031_02	-2.59	-22.00	231	-4.48	0.21	-3.30	-1.18
38AP0263_02	-5.64	-15.09	211	-6.05	0.07	-5.00	-1.05
37FP0030_01	-5.43	-19.25	211	-5.76	0.11	-4.90	-0.86
37FP0245_01	-5.62	-20.90	150	-6.04	0.18	-5.40	-0.63
37FP0247_01	-4.88	-20.47	151	-5.93	0.08	-5.40	-0.52
37FP0023_01	-3.02	-22.45	111	-5.64	0.06	-5.30	-0.34
37FP0248_01	-3.64	-20.69	109	-5.72	0.10	-5.40	-0.32
30HP0124_02	-3.27	-33.83	149	-5.34	0.11	-5.30	-0.04
30HP0111_01	-3.97	-15.46	186	-4.62	0.23	-4.80	0.18
37FP0250_01	-5.45	-19.89	151	-5.15	0.23	-5.40	0.25

Opvallend in deze tabel zijn de lage waarden van de stijghoogten en tevens de beperkte fluctuaties van de stijghoogten. De beperkte fluctuaties worden eveneens aangetroffen in de peilfilters langs de Hollandsche IJssel. Hieruit blijkt dat de invloed

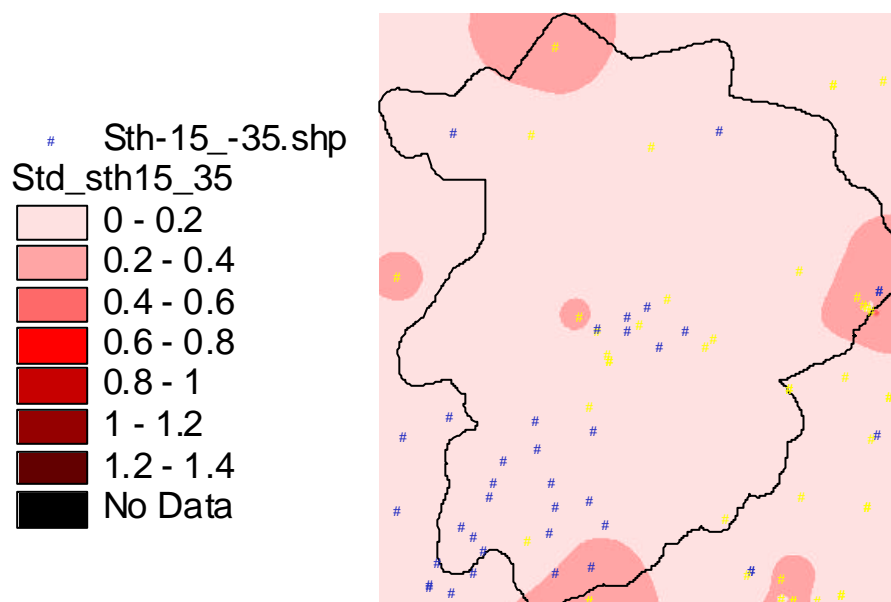


van het getij (met een dagelijkse fluctuatie van ruim 1 meter) op de stijghoogten beperkt is.

Uit de vergelijking volgt dat de stationaire stijghoogten van het Nagrom-model vaak hoger liggen dan de gemiddelden van de stijghoogtegegevens van TNO. Beter is het daarom om uit te gaan van de gegevens van TNO en op basis daarvan de randvoorwaarden te bepalen.



*Figuur 21 Gemiddelde TNO-grondwaterstanden eerste watervoerend pakket (in m+NAP)*



*Figuur 22 Standaarddeviatie TNO-grondwaterstanden per 0,2 meter voor het 1e watervoerend pakket*

De grondwaterstanden/stijghoogten van TNO betreffen over het algemeen gegevens van het eerste watervoerend pakket. Voor de diepere lagen zijn er onvoldoende peilfilters om op basis daarvan een isohypsenbeeld te construeren. De weinige peilbuisgegevens in het tweede en diepere watervoerende lagen laten zien dat de verschillen met de stijghoogten in het eerste watervoerend pakket beperkt zijn.

In Figuur 21 zijn de gemiddelde stijghoogten op een diepte van NAP –15 tot –35 m weergegeven<sup>2</sup>. Uit de figuur blijkt dat het grondwater in het eerste watervoerend pakket voornamelijk in de richting van het modelgebied stroomt. Dit is niet verwonderlijk gezien de lage polders in dit gebied. Uit analyse van dit isohypsenbeeld blijkt dat in totaal ruim 8.000 m<sup>3</sup>/d netto over de projectgrenzen het gebied instroomt. Dit komt overeen met circa 0,04 mm/d gemiddeld over het gehele gebied: dit is qua waterhoeveelheid slechts een beperkte hoeveelheid in vergelijking met het neerslagoverschot van ordegrootte 1 mm/d.

### **Randvoorwaarden**

Als randvoorwaarden binnen een modellering kunnen flux- en/of stijghoogte randvoorwaarden worden gekozen. Beide soorten randvoorwaarden hebben hun voor- en nadelen. Er zijn verschillende overwegingen om voor het één dan wel de andere randvoorwaarde te kiezen:

- Stijghoogterandvoorwaarden zijn het makkelijkst te hanteren en specificeren, maar indien in een scenario verdrogende maatregelen worden geïmplementeerd, dan zorgen deze randvoorwaarden ervoor dat er geen veranderingen van stijghoogten op de rand optreden. Wel zal als gevolg van de verdrogende maatregelen netto meer water via de randen het modelgebied instromen of minder water het modelgebied via de randen verlaten dan in werkelijkheid het geval zal zijn. Dus dit leidt in principe tot een *onderschatting* van de effecten van maatregelen op de grondwaterstanden/stijghoogten.
- Fluxrandvoorwaarden zijn 'veiliger', want de modelleur heeft direct controle over wat er met de waterbalans gebeurt; maar indien in een scenario verdrogende maatregelen worden geïmplementeerd, dan zorgen de flux randvoorwaarden ervoor dat er geen veranderingen van fluxen via de rand optreden. Dit had eigenlijk wel op moeten treden. Het gevolg is dus dat de grondwaterstanden meer uit zullen zakken dan in werkelijkheid het geval zal zijn. Dus dit leidt in principe tot een *overschatting* van de effecten van maatregelen op de grondwaterstanden/stijghoogten.

Door de randen op voldoende grote afstand van het interessegebied te kiezen zijn de negatieve effecten van beide randvoorwaarden te verwaarlozen. Het beste is nog het werken met een gemengde randvoorwaarde, waarbij de randflux afhankelijk wordt gesteld van de stijghoogte. Een manier om dit 'virtueel' te effectueren is door de doorlaatfactoren van de zone direct langs het interessegebied (=waterschap) te veranderen. Voor de watervoerende lagen houdt dit een verhoging van de weerstand

---

<sup>2</sup> hierbij is uitgegaan van de TNO-peilbuizen met meer dan 100 waarnemingen in het eerste watervoerend pakket in de periode 1990 tot en met 2000. Een gebiedsdekkend beeld is verkregen door interpolatie met een inverse distance weighted methodiek.

in, en voor de scheidende lagen een verlaging. Helemaal aan de buitenkant worden vervolgens stijghoogterandvoorwaarden opgelegd (die overeen moeten komen met de situatie die op de 'virtuele' afstand). Door deze werkwijze 'lijkt' het alsof de rand veel verder weg is dan de geometrische afstand in het model. In een eventueel vervolg van deze studie zal deze werkwijze worden toegepast. In deze studie zijn de berekeningen uitgevoerd met stijghoogte randvoorwaarden, zonder de doorlaatfactoren in de randzone te manipuleren.

Als basis voor de randvoorwaarden in alle drie de pakketten zijn de stijghoogten in het eerste watervoerend pakket in de betreffende periode genomen. Het bepalen van de randvoorwaarden heeft op de volgende wijze plaatsgevonden:

- uit de peilbuisgegevens is een gemiddeld isohypsenbeeld en een figuur met de standaarddeviatie geconstrueerd (zie Figuur 21 en Figuur 22). Hierbij zijn de volgende stappen:
  - alleen de filters in het eerste watervoerend pakket zijn geselecteerd, omdat de gegevens van de andere pakketten veel te fragmentarisch zijn;
  - alleen filters met in de periode 1 januari 1988 t/m december 2002 tenminste 100 waarnemingen zijn gebruikt;
  - er is een peilbuis geselecteerd waarvan het verloop representatief is voor de rest van het gebied ; hiervoor is filter 30HP012402 geselecteerd. De reeks is gecombineerd door middel van een tijdreeksanalyse (m.b.v. het softwareprogramma Vidente), zie Figuur 23
- Toekennen van randvoorwaarden aan de knoop voor de betreffende laag op basis van de gegevens van peilfilter P124 én de gemiddelde stijghoogte en standaarddeviatie van de stijghoogte over de betreffende periode. De nieuwe randvoorwaarden zijn zo berekend dat het gemiddelde als de standaarddeviatie op de knoop geconserveerd blijven. Dit vindt plaats op basis van de onderstaande relatie:

$$h_{rand}(t) = \frac{s_{rand}}{s_{pb}} (h_{pb}(t) - \overline{h_{pb}}) + \overline{h_{rand}}$$

met

$h_{rand}(t)$  = stijghoogte op de rand op tijdstip t (m+NAP)

$h_{pb}(t)$  = stijghoogte in referentiepeilbuis<sup>3</sup> op tijdstip t (m+NAP)

$s_{rand}$  = standaarddeviatie op rand (m) , op basis van de figuur met het geïnterpoleerde standaarddeviaties

$s_{pb}$  = standaarddeviatie in referentiepeilbuis (m)

$\overline{h_{pb}}$  = gemiddelde van  $h_{pb}$  (m+NAP)

$\overline{h_{rand}}$  = gemiddelde van  $h_{rand}$  (m+NAP), op basis van de figuur met het geïnterpoleerde gemiddelde isohypsenbeeld

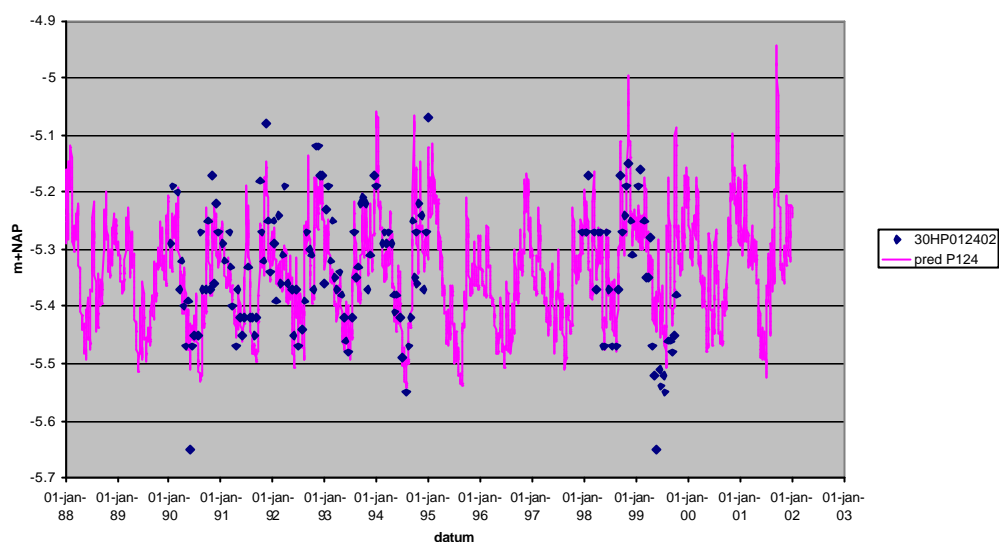
- Voor het model worden per randknoop 24 vaste stijghoogten per jaar gedefinieerd (dus voor 10 jaar 240 veranderingen van stijghoogte per randknoop).

---

<sup>3</sup> In deze studie peilfilter 30HP012402

### Onttrekkingen

Een belangrijke randvoorwaarde voor het model zijn eveneens de onttrekkingen. Ook hiervoor zijn de gegevens uit Nagrom gebruikt. In de onderstaande tabel zijn de hoeveelheden en de lagen weergegeven. Hieruit blijken de onttrekkingen beperkt van grootte te zijn met uitzondering van de laatste onttrekking uit de tabel. Het betreft een onttrekking uit de diepste modellaag. Deze onttrekkingen zijn constant verondersteld voor de gehele modelperiode.



Figuur 23 Representatieve buis voor gebruik bij afleiden van niet-stationaire randvoorwaarden

Tabel 8 Onttrekkingen in modelgebied

x-coördinaat	y-coördinaat	Laag	Onttrekking (m <sup>3</sup> /d)
100000.00	448000.00	2	134
92000.00	444000.00	4	96
93000.00	451000.00	4	935
96000.00	436000.00	4	158
96000.00	440000.00	4	83
96000.00	448000.00	4	194
99000.00	441000.00	4	247
100000.00	444000.00	4	78
100000.00	448000.00	4	66
101000.00	443000.00	4	411
102000.00	442000.00	4	210
104000.00	448000.00	4	74
93000.00	437000.00	6	3183

### Initiële randvoorwaarden

Voor grondwater is als initiële randvoorwaarde voor het model de berekende situatie aan het einde van de simulatieperiode genomen.

#### **4.4.4 Oppervlaktewater**

In het onderstaande wordt eerst de beschrijving van de schematisering gegeven, alvorens in te gaan op ontwatering en transport/berging. Omdat kunstwerken alleen rol spelen bij het transport/berging, worden die bij de behandeling daarvan pas in de beschouwing betrokken.

##### **4.4.4.1 Schematisering**

De informatie over de waterschapsgrens en de grenzen van peilgebieden is direct afkomstig van het hoogheemraadschap. Een overzichtskaart is gegeven in Figuur 24. Een verdere onderverdeling in afwateringseenheden is gemaakt met behulp van een GIS-procedure in AlterraAqua die uitgaat van het kortste afstand criterium naar een (hoofd) waterloop, met inachtneming van de peilgebiedsgrenzen, zie Figuur 18.

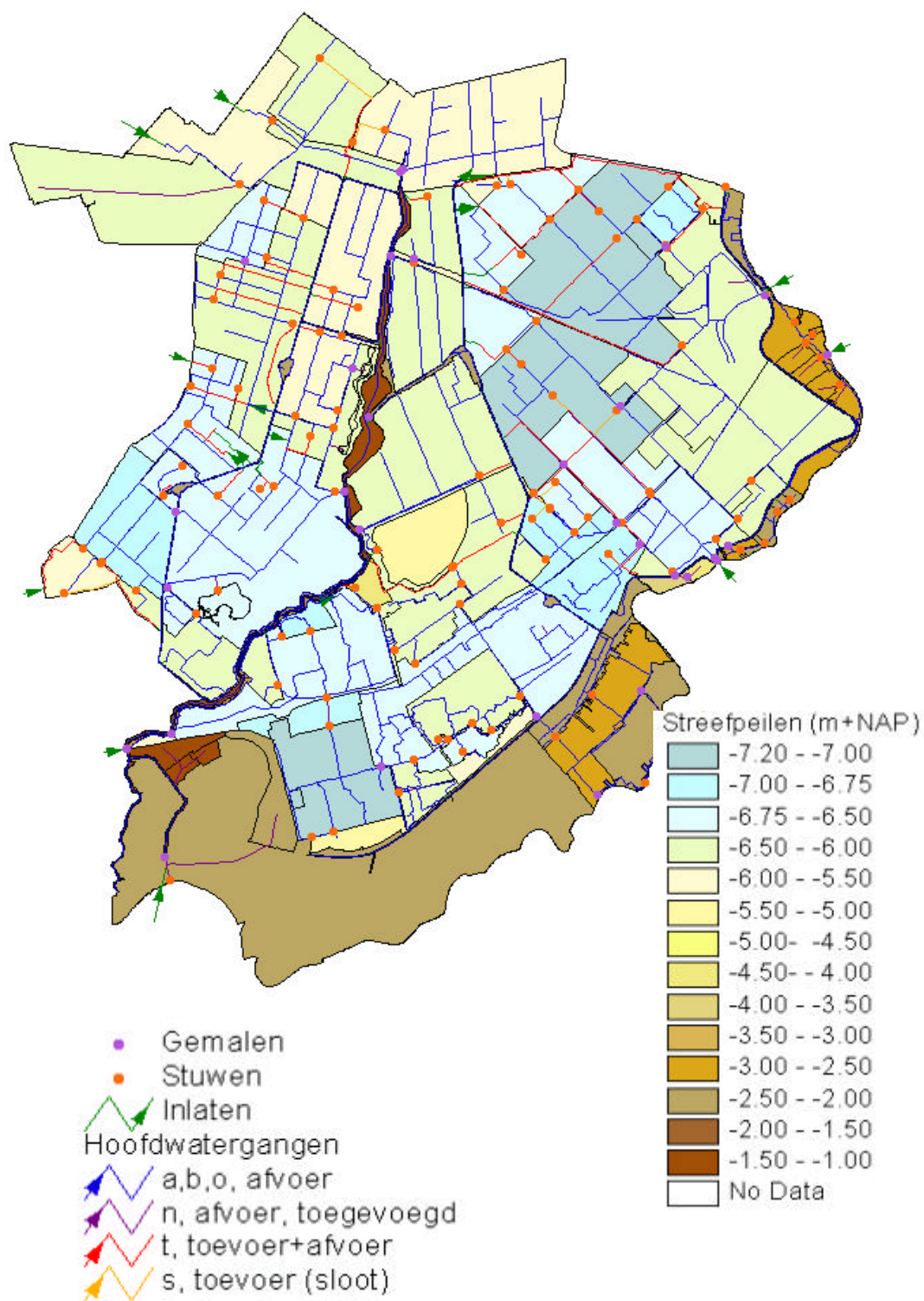
In de modelconceptualisering wordt gewerkt met een indeling van waterlopen in klassen, die aangeduid worden als 'systemen':

1. Hoofdwaterlopen (systeem 0 of 2). Dit zijn de watergangen van het waterschap. De gegevens zijn ontleend aan de (digitale) leggergegevens van het waterschap;
2. Kleinere waterlopen (systeem 3). Deze klasse bevat de overige waterlopen die voorkomen in het top10-vector bestand van de Topografische Dienst;
3. Buisdrainage (systeem 4);
4. Maaiveld drainage/greppels (systeem 5) wordt gebruikt om ontwatering via laaggelegen plekken in het maaiveld weer te geven.

Plassen vormen een speciale categorie; daar wordt apart op ingegaan.

##### ***Plassen***

Plassen worden gezien in het SIMGRO-model gezien als 'ondergelopen' maaiveld. In SOBEK, daarentegen, gaat het bij plassen eenvoudigweg om zeer brede waterlopen. In Figuur 25 is een overzicht gegeven van de in het gebied voorkomen grotere watervlakken. In Tabel 9 zijn de diepten van verschillende grotere waterlopen en plassen weergegeven. Bij de parameterisering in SIMGRO zijn de maaiveldhoogten ter plaatse van de waterpartijen en -vlakken verlaagd tot op de bodem van deze waterpartijen



*Figuur 24 Overzicht van het gemodelleerde deel van Hoogheemraadschap Schieland*



*Figuur 25 Grotere watervlakken in het studiegebied*

*Tabel 9 Diepten waterpartijen/vlakken*

Water	Diepte (m)
Hollandsche IJssel	4,55
Rotte	1,75
Zevenhuizerplas	15
Boezem/overig open water	2



### **Hoofdwaterlopen (hoogheemraadschap)**

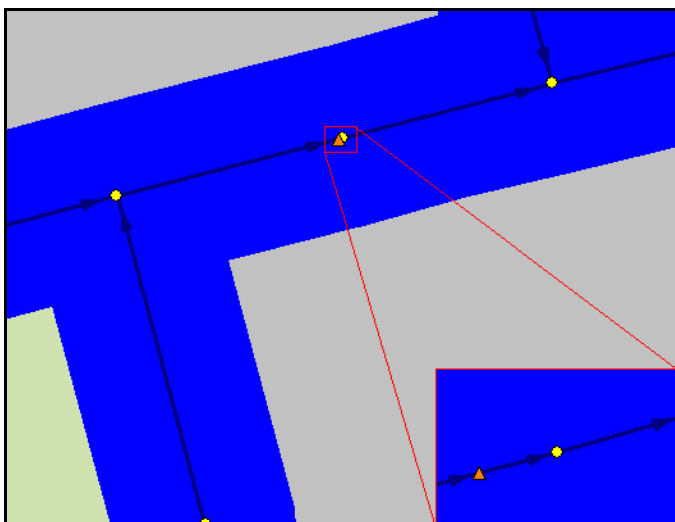
De hoofdwaterlopen worden gevormd door de bij het hoogheemraadschap in beheer zijnde watergangen, de A-watergangen. De ligging en de dimensies van deze waterlopen zijn door het waterschap vastgelegd in bestanden. De ligging van de hoofdwaterlopen is gebaseerd op een bestand van het Hoogheemraadschap Schieland. Aan de hoofdwatergangen is een aantal codes toegekend, die het gedrag en de functie van de waterlopen bepalen:

- afvoerleidingen (a,n);
- boezems (b, o);
- inlaatleidingen (s,t);

In het via AlterraAqua bewerkte bestand zijn de toevoerleidingen 'los' in het systeem gehangen. Verbindingen met het afvoerstelsel wordt gemodelleerd via inlaatkunstwerken. Hier ingegaan in par. 4.4.4.3 op pagina 69.

De gebruikte schematisering van het oppervlaktewater is identiek in de modellen SIMGRO en SOBEK: de modellen zijn dus één-op-één in dit opzicht. Wel moest ervoor gezorgd worden dat het netwerk geschikt was voor toepassing in beide modellen. Hier wordt nader op ingegaan.

De kunstwerken onder deze knopen worden in SOBEK op een andere manier in model gebracht dan in SIMGRO. In SOBEK zijn de kunstwerken knopen, die een reach splitsen in twee reach segmenten. De hele reach (beide segmenten) wordt in SOBEK dan onderdeel van het kunstwerk. De waterpeilen in de boven- en benedenstroomse knopen zijn dan de waterpeilen boven- en benedenstrooms van het kunstwerk. De afvoer door het bovenstroomse segment is gelijk aan de afvoer over het kunstwerk en ook gelijk aan de afvoer door het benedenstroomse segment. In SIMGRO zijn de kunstwerken in de  $Q(h)$ -relatie van de reach opgenomen. Dit vormt een belangrijk aandachtspunt bij data-uitwisseling tussen beide modellen. Figuur 26 geeft een voorbeeld van de locatie van een kunstwerk.



*Figuur 26 Voorbeeld van de locatie van een kunstwerk in SOBEK*



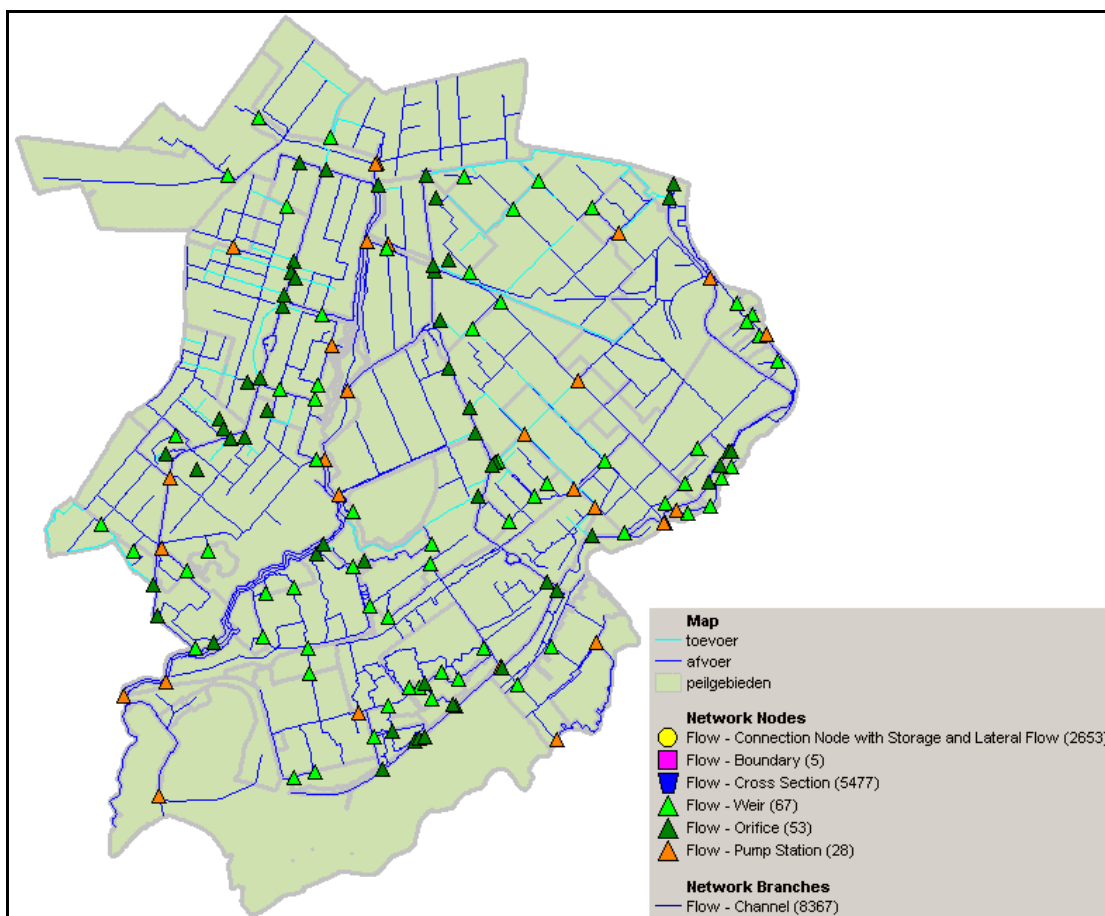
De kunstwerken liggen wel vlakbij, maar niet exact op een connection node. Voor de eenduidige data-uitwisseling met SIMGRO is het van belang te organiseren dat het kunstwerk altijd vlak voor af vlak achter de connection node ligt. Anders kan dit aanleiding geven tot lokale modelverschillen. De meest zuivere oplossing is om in beide modellen aan weerszijde van een kunstwerk op korte afstand een knoop te leggen. Daar is in voorzien door een extra *tool* te ontwikkelen in AlterraAqua.

Een noodoverlaat via een plaatselijk verlaagde kade is weer een ander verhaal. In feite gaat het om een bifurcatie vanuit de hoofdwaterloop, die 'slaapt' zo lang het peil beneden het niveau van de verlaagde kade blijft. In SOBEK hoeft er slechts een enkele (korte) reach te zijn die vanuit de hoofdwaterloop 'het weiland ingaat'. De 'stuw' met als kruinhoogte het niveau van de verlaagde kade, staat dan in die reach. Voor AlterraAqua/SIMGRO is het nodig om met *twee* korte trajecten te werken, met de overlaathoogte ingebracht als stuw, geplaatst net benedenstrooms van de eerste tak; die staat dus in het *tweede* traject vanaf het bifurcatiepunt. De overlaat wordt dan verwerkt in de  $Q(h)$ -relatie voor de stroming van het eerste traject naar het tweede. Door ook in de SOBEK-schematisering met twee trajecten (reaches) te werken en de 'stuw' net in het tweede traject te plaatsen, blijven de schematiseringen voor de beide modellen één-op-één.

In dit onderzoek is geen gebruik gemaakt van de optie om de reaches te splitsen in reach segments. Voor de eenduidige data-uitwisseling tussen SIMGRO en SOBEK is het van belang dat de netwerken van de watergangen van beide modelsystemen identiek zijn. Daarom is er voor de SOBEK-schematisatie alleen gebruik gemaakt van connection nodes en reaches. De connection nodes in SOBEK komen overeen met de knooppunten van de watergangen in SIMGRO. Om deze werkwijze te kunnen volgen zijn de waterlopen opgedeeld in subtrajecten. Daartoe is een hulp-programma geschreven, dat de waterlopen opdeelt in trajecten van maximaal 250 m, en dat tegelijkertijd het ontstaan van zeer korte trajecten probeert te vermijden. Dit netwerk van watergangen is zowel in SIMGRO als in SOBEK opgenomen. Figuur 27 geeft een overzicht van de manier waarop de met AlterraAqua bewerkte basisgegevens zijn omgezet naar een schematisering van het SOBEK-model.

Het netwerk geeft feitelijk een schematische representatie van de werkelijke geografische data van het te modelleren gebied. Figuur 28 laat dit in meer detail zien voor een klein deel van het Schieland model. In deze figuur is ook de aangenomen hoofdstroomrichting weergegeven.

De vorm van de watergangen (de reaches) wordt in SOBEK gedefinieerd door dwarsprofielen (Cross sections). In het model van Schieland zijn bijna 5500 cross sections opgenomen, die door Schieland zijn aangeleverd. Figuur 29 geeft een voorbeeld van een dwarsprofiel zoals die in het SOBEK model zijn opgenomen. Hierbij bepalen de bodemruwheid (friction) en de vorm van het profiel de opstuwing die plaatsvindt over de lengte van de sloot.



*Figuur 27 SOBEK-CF modelschematisatie van Schieland*



*Figuur 28 Detailoverzicht van de schematisatie van de werkelijkheid*

Location | Cross section | Friction | Defaults

Cross sections

Choose Type : Trapezium [v] Define dimensions

Select cross section : PRF\_5057 [v]

Dimensions

Slope : 1.5 [Hor : Vert.]

Bottomwidth B: 2 [m]

Maximum flow width : 9.47 [m]

☐ Use Ground Layer

Diagram labels: 9.47, 1.5:1, 2

Figuur 29 Voorbeeld van een dwarsprofiel in SOBEK

### Kleinere waterlopen

Het top10-vector waterlopenbestand geeft de locaties van de kleinere waterlopen in het onderzoeksgebied weer. Per afwateringseenheid wordt aangenomen dat de detailafwatering het water via de kleine waterlopen naar de hoofdswaterloop laat lopen. Maar dit wordt niet expliciet gemodelleerd, want de kleinere waterlopen worden niet als netwerkstructuur in model gebracht. Van deze waterlopen zijn ook de dimensies meestal niet bekend. Op basis van inventarisaties is geprobeerd de standaarddimensies binnen het studiegebied af te leiden, de resultaten zijn geïnterpreteerd en aangevuld met bij het waterschap aanwezige gebiedskennis:

Tabel 10 In het model gehanteerde dimensies voor kleinere waterlopen (gerelateerd aan Top10).

	Greppel	Sloot < 3m	Sloot 3-6 m
Bodemdiepte (cm)	80	80	120
Bodembreedte (cm)	100	100	140
Taludhelling (-)	1	1	1

#### 4.4.4.2 Ontwatering

##### **Plassen**

In SIMGRO zijn de plassen zijn geconceptualiseerd als 'ondergelopen maaiveld'. Derhalve wordt de ontwaterende functie gemodelleerd via de weerstand van de deklaag: die bepaalt immers de wisselwerking tussen de plas en de (onder)grond.

##### **Hoofdwaterlopen en kleine waterlopen**

Voor zowel de hoofdwaterlopen als de kleine waterlopen is een intree weerstand aangenomen van 1 d. Deze weerstand heeft betrekking op het 'actieve' ontwaterende oppervlak, d.w.z. de natte omtrek P van de watergang. Indien deze weerstand wordt 'uitgesmeerd' over het horizontale vlak dat wordt ontwaterd, dan dient te worden vermenigvuldigd met de verhouding tussen de slootafstand L en P. Bij een P van 2 m en een slootafstand van 100 m is de bijdrage van de intree weerstand aan de totale drainageweerstand dus  $(100/2) \cdot 1 = 50$  d. De horizontale drainageweerstand – de weerstand voor de horizontale toestroming naar de sloot – wordt door het model berekend op basis van de geohydrologische parameters.

##### **Buisdrainage**

Gebruik is gemaakt van de landelijk drainagekaart (Massop, pers. med.). De drainagekaart geeft alleen de ligging in het landelijk gebied weer. Ook in het stedelijk gebied zal drainage liggen. Daarom is de landelijke drainagekaart aangevuld met drainage in stedelijk gebied.

*Tabel 11 Karakteristieken drainage bij aanwezigheid in landelijk en stedelijk gebied*

Gebiedstype	Diepte drainage (m-mv)	Drainageweerstand (d)
Landelijk gebied	0.80	70
Stedelijke gebied	1.20	70

Volgens de drainagebedrijven ligt de buisdrainage in het reconstructiegebied overwegend op een diepte van 80 cm – mv bij een drainafstand van 10 m. Dat is gelijk aan de geïnventariseerde dieptes van de kleinere waterlopen. De drainageweerstand is gesteld op 70 d. In stedelijk gebied ligt drainage over het algemeen op een grotere diepte dan in het landelijk gebied, aangenomen is dat deze op een diepte van circa 1,2 m –mv ligt.

##### **Maaiveld drainage ('greppels')**

Om drainage via het maaiveld te simuleren zijn 'greppels' gedefinieerd met een diepte van 0,2 m en een weerstand van 20 dagen. Voor de 'greppels' is gebruik gemaakt van instortende weerstanden: naarmate de greppels meer gevuld raken neemt de drainageweerstand af tot 0,5 d bij volledige inundatie.

#### **4.4.4.3 Transport en berging**

##### ***Waterlopen***

Voor de waterlopen zijn weerstandscoefficienten gebruikt met een waarde van .... in SOBEK. In SIMGRO is indirect gebruik gemaakt van de ze informatie via de zogenaamde Q-h relaties (zie par. 4.4.4.4).

##### ***Stuwen en gemalen in afvoerleidingen***

Voor het waterbeheer wordt gebruik gemaakt van kunstwerken. Het hoogheemraadschap heeft de basisgegevens aangeleverd in de vorm van een bestand met stuwen en gemalen. Helaas bleek dit bestand niet compleet, waarna het met verschillende stuwen en gemalen is aangevuld, op basis van de aangeleverde peilgebiedenkaart (zie ook Figuur 24).

##### ***Duikers***

Er is een bestand van 600 duikers beschikbaar, waarvan de indruk is dat het incompleet is. Ook moet het bestand nog gescreend worden op fouten. De 'klassieke' fout die zeer verstorende is voor de modelsimulatie betreft de aanwezigheid van een duiker bij de uitmonding van een zijslot, die in het bestand zit als een duiker in de hoofdwatgang. Op dit soort fouten op te sporen moet het bestand handmatig worden nagelopen. Vooralsnog is dit niet gedaan, en het bestand dus nog niet in de modellen opgenomen. Dat neemt niet weg dat het gaat om zeer belangrijke informatie over weerstanden in het systeem, die in een echte praktijktoepassing wel meegenomen moet worden.

##### ***Inlaatwerken***

In droge perioden wordt op verschillende punten water ingelaten (Figuur 24). Dit gebeurt voor zowel het op peil houden van de boezems als voor het handhaven van minimum peilen in de lager gelegen polders. Bij de schematisering van de waterlopen die voor de toevoer dienen, zijn de toevoerleidingen 'losgeknipt' en alleen via inlaatwerken met de afvoerleidingen zijn verbonden. Om de verbindingen weer tot stand te brengen zijn er in totaal circa 130 inlaatwerken gedefinieerd in een GIS-bestand. Deze inlaatwerken zitten alleen in het SIMGRO-model, omdat alleen het SIMGRO-model de inlaatbehoefte kan bepalen op basis van de waterbalans van neerslag en verdamping, capillaire opstijging, enz.

#### **4.4.4.4 Uitwisseling data tussen SIMGRO en SOBEK**

Er zijn met het SOBEK-model rekenexperimenten gedaan met de volgende belastingen op het oppervlaktewatersysteem: 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 l/s/ha. Om te voorkomen dat het model ontspoot, zijn daarbij de gemaalcapaciteiten met een factor 3 verhoogd. (In het model dat vervolgens is gebruikt voor de nacalculatie van SIMGRO-runs, zijn wel de echte waarden gebruikt, evenals in SIMGRO zelf.). Deze runs zijn uitgevoerd als stationaire berekeningen. Zoals gesteld is par. 4.2.3 had het wellicht een betere overeenstemming gegeven tussen de modellen indien de

experimenten niet-stationair waren gedaan, in verband met de hysteresis in het verband tussen peil en afvoer.

Om de nalcuatie met SOBEK te kunnen doen dienen uit de SIMGRO-rekenresultaten de belastingen te worden berekend. Voor de normale waterlopen is die belasting de optelsom van:

- drainage/infiltratiefluxen;
- bergingsveranderingen in ontwateringssysteem;
- inlaathoeveelheden/onttrekkingen.

Indien er infiltratie plaatsvindt, dan is de drainageterm negatief. Als er inlaatwater aan een waterloop wordt onttrokken, dan is ook die term negatief.

De bergingsveranderingen in het ontwateringssysteem zijn verdisconteerd in de belastingen, omdat SOBEK alleen de hoofdwatgangen simuleert. Als in SIMGRO de berging in het slotensysteem toeneemt in een tijdstap, dan wordt die toename van de belasting afgetrokken. Zodoende kan er een zuivere vergelijking worden gemaakt tussen SOBEK en SIMGRO. Het alternatief was geweest om ook de slootberging in SOBEK op te nemen. Gezien het feit dat SIMGRO werkt met een optelsom van sloten die op diverse dieptes hun bodem kunnen hebben (ook en binnen een afwateringseenheid), had dit waarschijnlijk een extra stuk modelcode-ontwikkeling voor SOBEK vereist. Vooralsnog is daar om die reden van afgezien. Maar voor waterkwaliteitsberekeningen is het modelleren van de slootberging in SOBEK wel een vereiste.

Voor de plassen moet de belasting op een afwijkende wijze worden bepaald. Een plas is namelijk in SIMGRO gemodelleerd als 'ondergelopen maaiveld'. De 'greppelflux' zorgt voor een lage- weerstandverbinding tussen water op het maaiveld en de waterloop die in het model 'door' de plas loopt. Maar deze fluxen dienen slechts als doorgeefluik. De echte flux waar het om gaat is de netto flux, gebaseerd op een waterbalans van:

- neerslag/verdamping;
- kwel/wegzijging.

#### **4.4.4.5 Tijdsafhankelijke data**

De Hollandsche IJssel staat onder invloed van het getij, waarbij dagelijks de waterstand met ruim 1 meter fluctueert (zie verschil GHW en GHL in tabel 12). Voor deze modellering is het getij van minder belang. Immers de effecten hiervan op de oppervlaktewaterstanden en -afvoeren zijn slechts van beperkte invloed. Het niet simuleren van het getij maakt vergelijking van met name de gemeten en berekende stijghoogten in de watervoerende pakketten moeilijker. Door de beperkte bergingscoëfficiënt in de watervoerende pakketten kunnen ook de stijghoogten zeer snel en tot op aanzienlijke afstand reageren op getijfluctuaties (als de rivier in directe verbinding staat met het watervoerend pakket).

De karakteristieken van de waterstanden in de Hollandsche IJssel zijn weergegeven in de onderstaande tabel. De gemiddelde stand komt ongeveer overeen met het gemiddelde van de GHW en de GLW.

*Tabel 12 Karakteristieken waterstanden Hollandsche IJssel*

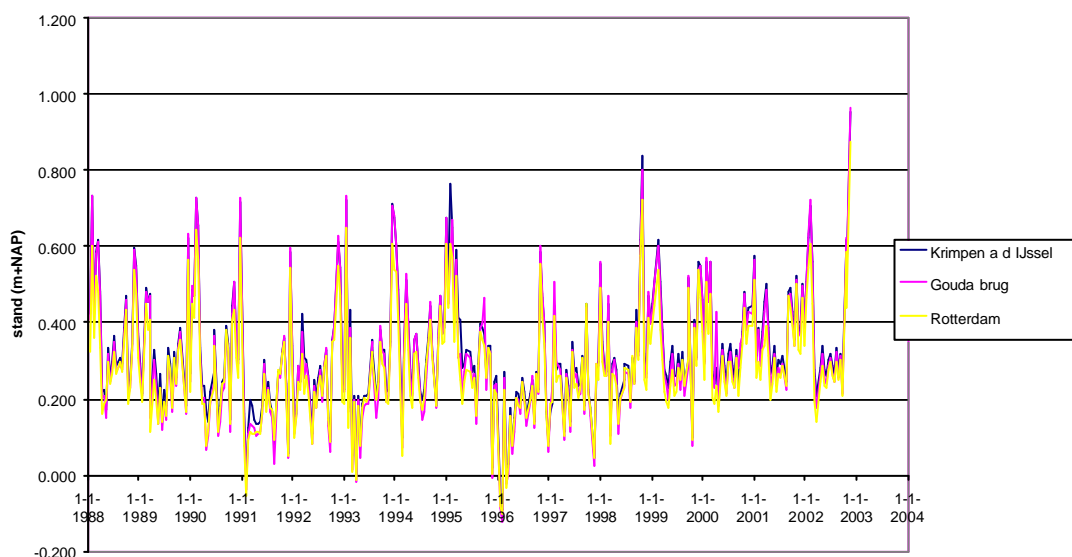
Standen in m+NAP	Gouda	Krimpen
Gem. hoog water	+1.40	+1.21
Gem. laag water	-0.27	-0.27
gemiddeld	+0.56	+0.47

In Figuur 30 is het verloop gegeven van de waterstanden in de Hollandsche IJssel (Gouda en Krimpen) en in de Nieuwe Maas (Rotterdam weergegeven). Hierbij zijn de 15 daagse gemiddelden getoond om zo de dagelijkse fluctuaties (mede door het getij) uit te middelen en een indruk te krijgen van de langdurige fluctuaties. Uit de figuur blijkt tevens dat de waterstanden op de drie locaties sterk aan elkaar gerelateerd zijn (waarbij de verschillen tussen de stations en op één dag kleiner zijn dan de fluctuaties in de tijd).

Voor de oppervlaktewaterstanden in de rivieren is uitgegaan van het volgende:

- opnemen in het model als vaste randvoorwaarden;
- wisselende peilen in de tijd;
- variatie van de peilen per 15 dagen. Hiervoor is gekozen omdat: 1) het grondwater vertraagd zal reageren op wisselingen in peilen, 2) de rivier aan de rand van het model ligt;
- gezien de beperkte verschillen tussen de verschillende meetpunten het gemiddelde van de drie meetstations.

Voor het oppervlaktewater is als initiële randvoorwaarde voor het model de berekende situatie aan het einde van de simulatieperiode genomen.



*Figuur 30 Verloop van waterstanden in de Hollandsche IJssel*





## 5 Rekenresultaten

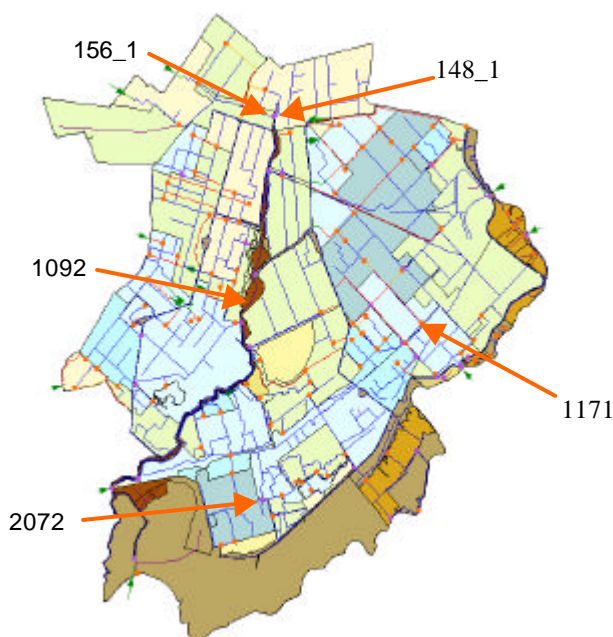
Nadat beide modellen waren opgezet en de rekenexperimenten waren gedaan om vanuit SOBEK de  $Q(h)$ -relaties aan SIMGRO te leveren, heeft zich het volgende samenspel tussen de instituten ontwikkeld:

- met dat SIMGRO-model is een periode van 10 jaar doorgerekend;
- de uitkomsten voor het jaar 1998 zijn geanalyseerd in termen van de 'belasting van de hoofdwaterlopen' met water vanuit het detailafwateringssysteem;
- met die belastingen is vervolgens het SOBEK-model een herberekening van peilen en afvoeren gedaan, om de simulatieuitkomsten nauwkeuriger te schatten.

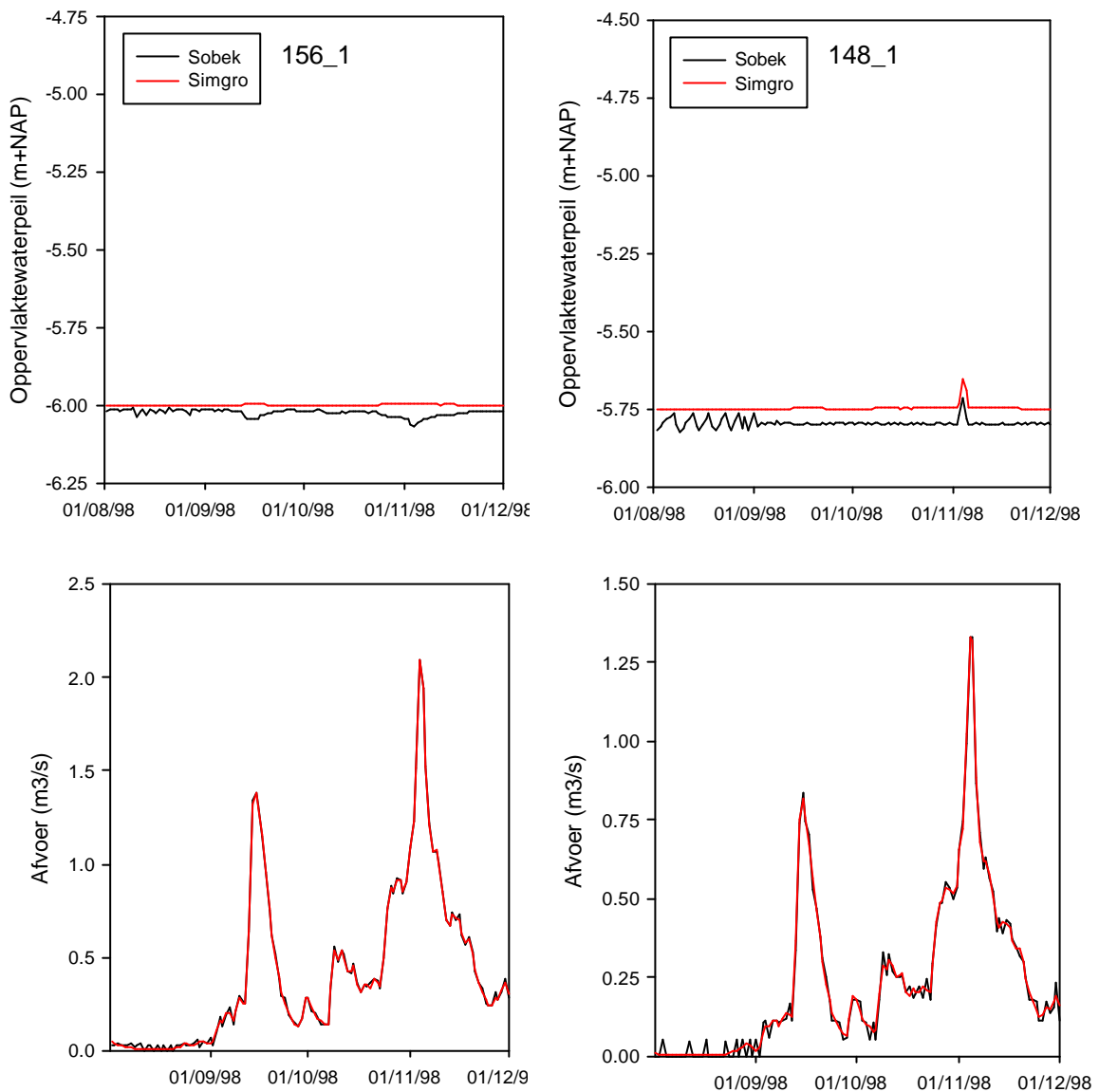
In de volgende paragraaf wordt een vergelijking gemaakt tussen SIMGRO en SOBEK, aan de hand van een situatie met extreem hoge afvoeren. Dan volgt een voorbeeld van resultaten met betrekking tot de waterinlaat.

### 5.1 Vergelijking uitkomsten SIMGRO en SOBEK

Aan de hand van de simulatieperiode 1 augustus tot 1 december 1998 is een vergelijking gemaakt van uitkomsten van SIMGRO en SOBEK. In Figuur 31 is een overzicht gegeven van de locaties waarop de vergelijkingsplaatjes betrekking hebben. De vergelijking van uitkomsten wordt gegeven in Figuur 32 en Figuur 33.

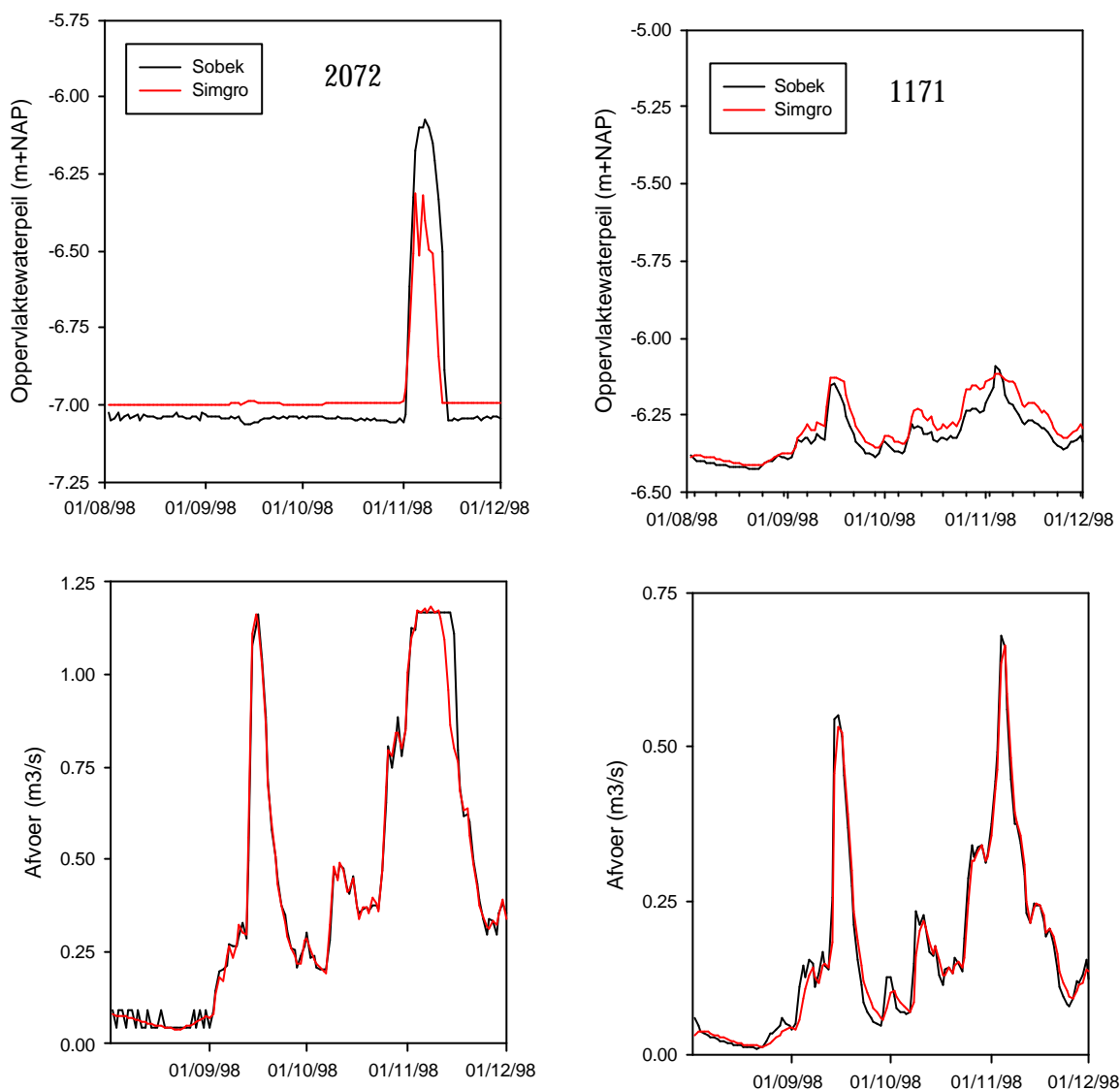


*Figuur 31 Overzicht van locaties waarvoor een vergelijking van uitkomsten is gemaakt tussen SIMGRO en SOBEK. De codes hebben betrekking op de zogenaamde 'Ovkident' identifier van AlterraAqua-SIMGRO. Ieder traject van SIMGRO komt overeen met een 'read' van SOBEK (voor de afvoeren), en tevens een 'knooppunt' van SOBEK (voor de peilen)*



*Figuur 32 Vergelijking van uitkomsten tussen SIMGRO en SOBEK voor de gemalen links en rechts van de Rotte in het noorden van het Hoogheemraadschap (zie ook Figuur 31 )*

De vergelijkingen in Figuur 32 hebben betrekking op twee gemalen, een met een capaciteit van  $2,67 \text{ m}^3/\text{s}$  (156\_1) en een met een capaciteit van  $1,33 \text{ m}^3/\text{s}$  (148\_1). In beide gevallen is er een bijna loepzuivere overeenkomst tussen de afvoerverlopen van beide modellen. De gemaalcapaciteit van 156\_1 is ruim voldoende om het aanbod van water af te voeren. Daarentegen schiet de capaciteit van 148\_1 net iets tekort, wat zich uit in een kort afgeplat traject in de afvoergrafiek. Maar de peilverlopen



Figuur 33 Vergelijking van uitkomsten tussen SIMGRO en SOBEK bij een gemaal waarvan de capaciteit duidelijk tekortschiet (links) en van een situatie waarbij er duidelijke peilvariaties optreden. (zie voor locaties Figuur 31)

vertonen wel een opvallend verschil. Dat betreft overigens niet het systematische verschil van enkele cm's tussen de peilen, want dat is een kleine onnauwkeurigheid in de afstemming van de invoergegevens. In het geval met net voldoende gemaalcapaciteit (linker figuur) berekent SOBEK een *peildaling* ten tijde van de piek, terwijl SIMGRO een geringe *peilstijging* laat zien. Dat verschil komt door de verschillende werkwijzen van de modellen: in SOBEK wordt het gemaal ingeschakeld als een fluxrandvoorwaarde, die juist voor afpompings zorgt, d.w.z. een negatieve stuwkromme. Het concept van SIMGRO vereist dat het peil hoger moet worden bij hogere  $Q$ . Deze beperking van het concept leidt in dit soort situaties tot een lichte anomalie, die echter niet van belang is. In het geval dat de gemaalcapaciteit tekortschiet wordt door beide modellen een vergelijkbare peilstijging berekend (rechts).

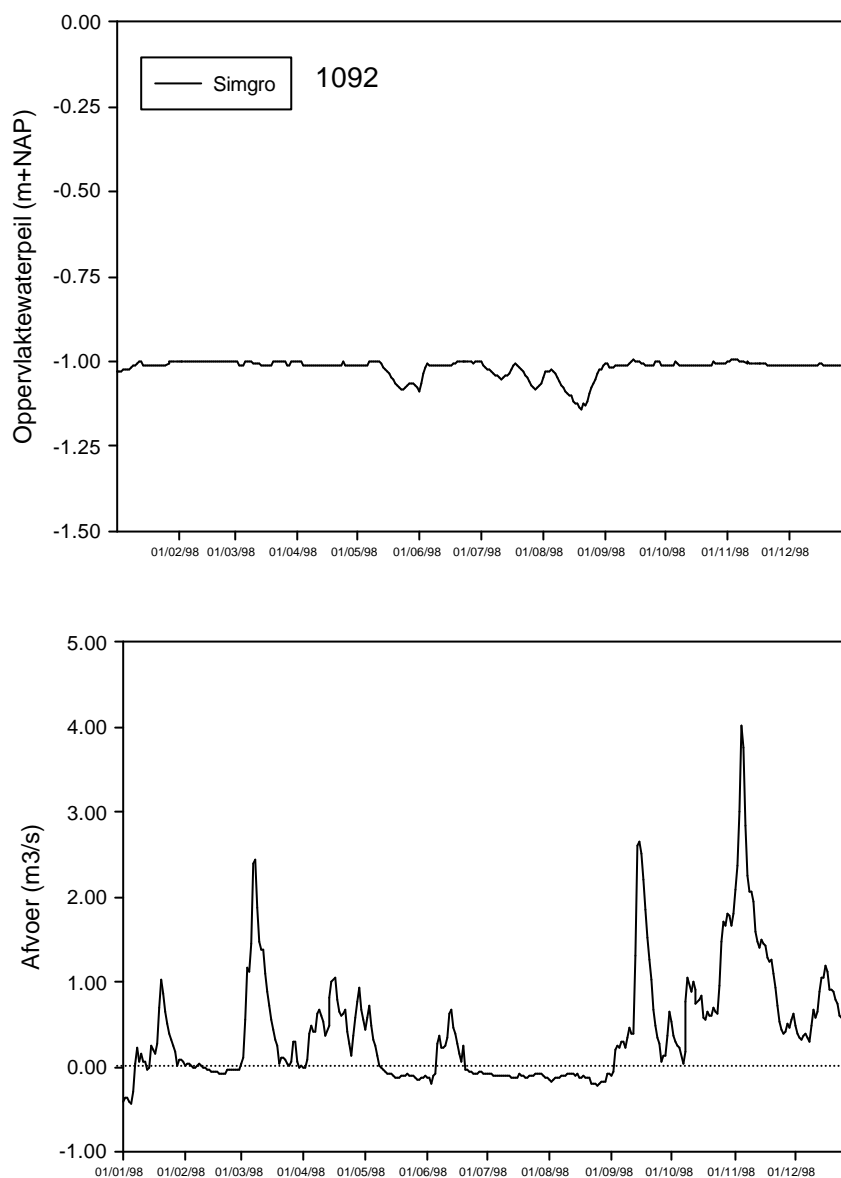
In het linkerdeel van de figuur is een voorbeeld gegeven van een situatie waarbij het gemaal duidelijk tekortschiet. Bij de vergelijking valt op dat het SOBEK-model in totaal meer water wordt afvoert dan in het SIMGRO-model; de door SOBEK berekende (grotere) peilstijging in het 'gefaalde' systeem is daar consistent mee. De waterbalanscijfers laten zien dat het om een afvoerverschil gaat van circa 3% in anderhalve maand. De oorzaak van dat verschil kon (nog) niet worden achterhaald.

In het rechterdeel van de vergelijking zijn de resultaten getoond voor een situatie waar duidelijke peilvariëaties optreden. Hoewel de gesimuleerde afvoeren nauw met elkaar overeenkomen, blijkt als gevolg van de in SOBEK gesimuleerde hydrodynamische effecten er duidelijke verschillen in het peilverloop te ontstaan.

## **5.2 Simulatie van waterinlaat**

Voor de simulatie van waterinlaat zijn de gegevens met betrekking tot de waterinlaten alleen geverifieerd wat betreft de locatie. Gegevens over de inlaatcapaciteit en het beheer zijn niet achterhaald. In de praktijk is dat overigens moeilijk, want het systeem is onoverzichtelijk, en het beheer is slechts ten dele gebaseerd op formele regels.

In Figuur 34 is bij wijze van voorbeeld het afvoerverloop gegeven van een traject bij de ingang van de Rotte Plassen (traject 1092 in Figuur 31). De overgang van een afvoer- naar een inlaatsituatie is in de figuur te zien aan het omslaan van de afvoer van + naar -. Daarbij gaat het SIMGRO-model op een speciale manier het transport simuleren, zie daarvoor par. 4.2.3. De aanvoer bereikt in dit jaar maximaal circa 0,23 m<sup>3</sup>/s. Dat daarbij een peilverval van circa 0,15 m wordt berekend is niet realistisch, gezien de enorm grote aan- en afvoercapaciteit van de boezem. Maar omdat het om een relatief geringe daling gaat, wordt dit als een niet-significante anomalie gezien.



*Figuur 34 Peil- en afvoerverloop op een punt bij de ingang van de Rotte Plassen (zie Figuur 31). Het omslaan van + naar – van de afvoer geeft de overgang van een afvoer- naar een aanvoersituatie aan.*



## 6 Ontwikkeling ‘Waterwijs Laag Nederland’ in perspectief

Het ‘vernieuwende’ van Waterwijs is het ontwikkelen van optimaliseringstechnieken waarmee ruimtelijke plannen voor land- en watergebruik kunnen worden gegeneerd op basis van vooraf opgelegde doelstellingen. Met andere woorden: de maatregelen die nodig zijn om een vooraf opgelegd doel te bereiken, zijn de *uitkomsten* van deze technieken in plaats van andersom. De gebruiker van het systeem moet dan wel hebben aangegeven wat de opties voor maatregelen zijn, en die hangen weer af van het gehanteerde perspectief (par. 3.2).

Vooraf wanneer tegelijkertijd aan meerdere doelstellingen moet worden voldaan biedt een dergelijke techniek de mogelijkheid om tot een effectieve planvorming te komen. Als een dergelijk systeem eenmaal is opgezet, kunnen relatief snel nieuwe varianten worden verkend. Deze varianten zullen in praktijk worden gestuurd door beleidsvoorkeuren en doelstellingen, en het perspectief dat men heeft.

Een belangrijke voorwaarde voor acceptatie van voorgestelde plannen is dat ze goed onderbouwd zijn. Daarvoor is een goede systeemkennis noodzakelijk. Een simulatiemodel, waarin alle beschikbare systeemkennis is opgeslagen, draagt bij tot een beter inzicht in het watersysteem. Daarom is er binnen dit onderzoek voor gekozen een goede systeemsimulatie als uitgangspunt te nemen. Ter vergelijking: voor Hoog Nederland was bij aanvang van de studie reeds een simulatiemodel beschikbaar. Dit model was gemaakt voor het Klimaat en Beken project, een project dat een looptijd heeft gehad van drie jaar. Bij de aanvang van de studie voor Laag Nederland was er nog geen case-study, en dus ook geen simulatiemodel beschikbaar. (Evenmin was SIMGRO zelf geschikt voor de specifieke situatie in Laag Nederland.) Wij hebben toen gekozen voor een gebied waarin de specifieke problematiek van Laag Nederland zich voordoet, en waarvan al een hoop informatie beschikbaar was. Dit is het grootste deel van het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Schieland (Schieland minus het stedelijk gebied van Rotterdam).

In het navolgende wordt eerst ingegaan op de gang van zaken in het project. Vervolgens wordt een vooruitblik gegeven.

### 6.1 Verloop van het project

#### ***Invoerdata***

Bij het vergaren van invoerdata ging veruit de meeste inspanning zitten in de zeer complexe structuur van het oppervlaktewaterstelsel. De gegevens van de watergangen, die bij Schieland beschikbaar zijn, hebben evenwel nauwelijks een echte GIS-structuur. Ze zijn meer cartografisch van aard, met bijvoorbeeld onderbrekingen bij bruggen en wegen. Daarom moest eerst een GIS-bestand gemaakt worden, waar alle benodigde data correct in zijn opgeslagen op een manier dat ze eenvoudig naar beide modellen doorgesluisd kunnen worden. Dat heeft tot diep in het najaar van 2002

geduurd. Met name het correct en consistent maken van de data heeft veel tijd gekost. Ook in het verdere traject hebben inconsistenties in de data steeds weer tijd gekost. Vaak was niet direct duidelijk of een probleem lag aan de data of aan de gebruikte software. In sommige gevallen lag het probleem aan een combinatie van beiden, zodat het probleem pas werd opgelost nadat beiden op orde waren gebracht.

### ***Afstemming modelnetwerken***

WL en Alterra hebben uitvoerig gediscussieerd over de manier waarop de beide modellen SIMGRO en SOBEK op elkaar afgestemd kunnen worden. Het eerste item daarbij was het maken van een schematisering van het netwerk van waterlopen die voor beide modellen bruikbaar is. Dit is noodzakelijk om de data-uitwisseling tussen beide modellen (gedurende berekeningen) goed te laten verlopen. Daartoe is een hulpprogramma geschreven, dat de waterlopen opdeelt in trajecten van maximaal 250 m, en dat tegelijkertijd het ontstaan van zeer korte trajecten probeert te vermijden. Dit netwerk van watergangen is zowel in SIMGRO als in SOBEK opgenomen. Daarbij is het van belang dat de netwerken identiek zijn. Een bijkomend probleem daarbij was dat de aansluitingen van de watergangen op de randen en kunstwerken binnen SIMGRO en SOBEK anders geregeld worden. Daar is in voorzien door een extra *tool* te ontwikkelen in AlterraAqua.

Vooralsnog is ervoor gekozen om de bergingsveranderingen in het ontwateringssysteem te verdisconteren bij het wegschrijven van de afvoerbelastingen vanuit SIMGRO naar SOBEK. Maar in de toekomst is het vanwege de waterkwaliteitsberekeningen noodzakelijk om ook in SOBEK de berging in het slotensysteem te modelleren.

### ***Afstemming $Q$ - $h$ relaties***

Met het SOBEK-model zijn rekenexperimenten gedaan om voor verschillende afvoeren de peilen te berekenen. Met deze experimenten zijn  $Q$ - $h$  relaties opgesteld die SIMGRO nodig heeft voor afvoersituaties. Probleem daarbij is dat de methodiek van  $Q(h)$ -relaties binnen SIMGRO in principe ontwikkeld is voor water dat onder vrij verval afstroomt (beken). In poldergebieden werkt het anders. Daar heerst in principe altijd ongeveer hetzelfde waterpeil ( $h$ ) of het water nu stilstaat ( $Q = 0$ ), langzaam stroomt (kleine  $Q$ ) of snel stroomt (grote  $Q$ ). De afvoer ( $Q$ ) wordt opgelegd door de gemalen en niet door vrij verval. Feitelijk bepalen de weerstand in de watergangen (ruwheid) en de weerstand over de kunstwerken de  $Q$ - $h$  relatie in een bepaalde situatie. Het heeft nogal wat voeten in aarde gehad om dit op een goede manier te gebruiken in SIMGRO. Daarbij is vooralsnog uitgegaan van stationaire rekenexperimenten bij het afleiden van de  $Q(h)$ -relaties. In de toekomst zou het een optie zijn om die relaties af te leiden uit dynamische berekeningen, en bijvoorbeeld aan een bepaalde  $Q$  de hoogste  $h$  die SOBEK simuleert te koppelen. Op die manier gaat SIMGRO peilen berekenen die bovenwaardeschattingen zijn, wat voor beschouwingen met betrekking tot faalkansen relevant kan zijn.

In het gebruik van de  $Q(h)$ -relaties door SIMGRO kunnen zich situaties voordoen die niet vooraf via rekenexperimenten in alle variaties zijn 'voor te kauwen' met SOBEK. Dat speelt vooral bij splitsingen van waterlopen, in combinatie met terug-



stuwing als gevolg van een falend systeem. Daarom is het van belang dat ook in SIMGRO een methode zit ingebouwd om het water bij splitsingen op een realistische manier te verdelen. Daar is in de loop van het project in voorzien.

### ***Afstemming waterinlaat***

De inlaat van water vormt een verhaal apart. De inlaat van water is in Laag Nederland een cruciaal onderdeel van het watersysteem, vooral uit het oogpunt van waterkwaliteit. SOBEK is hier al geschikt voor; SIMGRO moest hier nog (grondig) voor worden aangepast. In SIMGRO was het voorheen alleen mogelijk om water 'via de lucht' aan te voeren, en niet vraaggestuurd via een netwerk zoals nodig is voor Laag Nederland. Om die reden is in SIMGRO een compleet nieuwe werkwijze ontwikkeld om de waterinlaat op een realistische manier te laten functioneren. En het algoritme dat het 'achteruit' stromen van water regelt in SIMGRO, wat vooral bij wateraanvoer een rol speelt, was niet berekend op de grote hoeveelheden waterinlaat die op sommige plekken door het systeem moeten. Dit algoritme is daarom aangepast. Het is nu mogelijk om de inlaat zo af te regelen dat:

- gereageerd wordt op de 'vraag', ook al bevindt die zich veel verderop in het systeem;
- een gewenste minimale doorspoeling kan worden bereikt, zonder direct een waterballet aan te richten.

### ***Uitwisseling berekeningsresultaten***

Met het huidige SIMGRO-model kan zowel afvoer als aanvoer worden gesimuleerd. In praktijk wisselen deze processen elkaar af, afhankelijk van de meteorologische situatie. Met het SIMGRO-model van Schieland kan voor een rekentijdstap van 0,25 d (6 uur) voor het grondwater en een rekentijdstap van 0,01 dag (15 min.) voor het oppervlaktewater het watersysteem worden doorgerekend met een totale rekentijd van circa één en een kwart uur voor een simulatiejaar. Het SOBEK-model levert waarschijnlijk iets nauwkeuriger resultaten, maar heeft een wezenlijk langere rekentijd, namelijk circa 30 uur.

Om de waterkwaliteits-processen en de veranderingen daarvan goed in beeld te krijgen, zijn langere rekenperiodes nodig. Daarom wordt voor het doorrekenen van langere periodes gekozen voor SIMGRO, waarbij de waterbalanst termen van SIMGRO op dagbasis zullen worden weggeschreven in de formats die door SOBEK-WQ kunnen worden gelezen. Daarmee kunnen vervolgens chloride balansen worden doorgerekend. Dit zal echter niet meer in het huidige project worden gerealiseerd.

## 6.2 Vooruitblik

Voor het ontwikkelen van het optimaliseringsmodel Waterwijs Laag Nederland voor Schieland moet op basis van de modelresultaten een zoekmachine worden gevuld. Hiertoe zijn een groot aantal berekeningen met de ontwikkelde modellen noodzakelijk. De huidige modellen zijn nog echter nog niet getoetst op hun realiteitsgehalte. Het verdient daarom aanbeveling om de bestanden van het voorbeeldgebied in overleg met het Hoogheemraadschap van Schieland geheel na te lopen en te reviseren. Daarnaast is het raadzaam om de modelresultaten te verifiëren op meetreeksen.

Ook kan het simulatie-instrumentarium van WL en Alterra nog beter op elkaar worden afgestemd. Met name de koppelingsopties kunnen verder worden geoptimaliseerd. Het gaat daarbij onder meer om:

- het simuleren van de berging in het slotensysteem door SOBEK; daartoe moeten bergingstabellen vanuit SIMGRO eerst naar SOBEK worden overgebracht;
- het afleiden van Q-h relaties aan de hand van dynamische rekenexperimenten met SOBEK;
- het afleiden van Q(h,h<sub>2</sub>)-relaties, waarbij ook het peil in het benedenstroomse pand in de relatie wordt betrokken; dit impliceert dat SIMGRO zodanig moet worden uitgebreid dat het van deze verbeterde relaties gebruik kan maken;
- het maken van een online koppeling tussen SIMGRO en SOBEK, waarbij per tijdstap van het oppervlaktewatermodel gegevens worden uitgewisseld, te weten drainagefluxen vanuit SIMGRO naar SOBEK, en peilen vanuit SOBEK naar SIMGRO;
- het maken van de koppeling (direct) tussen SIMGRO en SOBEK-WQ, voor de simulatie van waterkwaliteit.

## Literatuur

- DASH, 2001. *XPRESS-MP Reference Manual*. Dash Associates, Blisworth (UK)
- Hoogheemraadschap van Schieland, 2002. *Water en ruimtelijke ordening in Schieland*. Rotterdam.
- Provincie Zuid-Holland. *Beleidsplan Milieu en Water*.
- Thompson, M., Ellis, R. and Wildavsky, A. (1990). *Cultural Theory*. Westview Press, Boulder, USA.
- Thompson, M. Grendstad, G. and Selle, P. (1999). *Cultural Theory as Political Science*. ECPR Studies in European Political Science, Routledge London and New York
- TNO, november 2001, W. van der Linden en J.C. Gehrels, *Hydrologisch model Zoetermeer Zuidplas*.
- TNO, 18 oktober 2002, Griffioen, de Louw, Boogaard, Hendriks, *De achtergrond-belasting van het oppervlaktewatersysteem met N, P en Cl en enkele ecohydrologische parameters in het Westen van Nederland*, TNO-rapport NITG 02-166-A.
- Van Asselt M.B.A. , H. Middelkoop, S. van 't Klooster, W.P.A. van Deursen, M. Haasnoot, J.C.J. Kwadijk, H. Buiteveld. G.P. Können, J. Rotmans, N. van Gemert, P. Valkering. (2001). *Integrating water management strategies for the Rhine and Meuse basin in a changing environment*. Final report of the NRP project O/958273/01
- Van der Bolt, F.J.E., W.W. Immerzeel, A.A. Veldhuizen. 2000. *Simulatie van hoogwaters ten behoeve van de reconstructie in Noord-Brabant*. Alterra-rapport. Alterra.
- Van Rooy, P.T.J.C. 1997. *Interactieve Planvorming gericht op Effectiviteit en Acceptatie*. STOWA Boekenreeks 12, Utrecht.
- Van Walsum, P.E.V., J.F.M. Helming, E.P.A.G. Schouwenberg, P. Groenendijk, L.C.P.M. Stuyt, P.H. Vereijken, K.W. Ypma, P.J.T. van Bakel en C.J.A.M. de Bont, 2002. *Waterwijs; plannen van toekomstig landgebruik*. Rapport 433, DLO-Alterra. Wageningen.
- Veldhuizen, A.A., A. Poelman, L.C.P.M. Stuyt and E.P. Querner. 1998. *Software documentation for SIMGRO V3.0; Regional water management simulator*. Technical Document 50. SC-DLO, Wageningen.
- Wesseling, J.G., 1991. *CAPSEV: steady state moisture flow theory: program description, user manual*. DLO-Staring Centrum, Wageningen.

WL | Delft Hydraulics, 2001. *SOBEK Rural, managing your flow*. Manual version 2.07, WL|Delft Hydraulics, delft.

WL en Bureau Stroming, 1998. *Levende Berging: verkennende studie naar uitbreiding van berging in Holands Noorderkwartier*. Waterloopkundig Laboratorium, rapport ISBN 90 74647 42 1.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot & J. Stolte. 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Alterra rapport 153.